

Trabajo Fin de Máster

Master en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos



Análisis del Sistema Público de Transporte de Málaga Mediante Simulaciones Macroscópicas.

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

Autor: Javier Fernández Tejada

**Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y
del Transporte**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Máster
Master en Ingeniería de Caminos, Canales y Puentes

Análisis del Sistema Público de Transporte de Málaga Mediante Simulaciones Macroscópicas.

Autor:
Javier Fernández Tejada

Tutor:
Luis Miguel Romero Pérez

Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Análisis del Sistema Público de Transporte de Málaga Mediante Simulaciones Macroscópicas.

Autor: Javier Fernández Tejada

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

En los últimos años, el estudio de las ciudades desde una perspectiva de sostenibilidad ocupa a científicos y planificadores, tanto más cuanto los actuales procesos de crecimiento urbano están revelando unos patrones con evidentes costes ambientales, sociales y también económicos. Los conceptos de movilidad y transporte sostenibles se sitúan, por supuesto, en el núcleo de la investigación sobre la sostenibilidad urbana y también en la base de las políticas urbanísticas, como elementos fundamentales que son de la estructura y funcionamiento de las ciudades.

En este sentido, la congestión urbana es un problema que afecta de manera específica a los accesos y grandes distribuidores viarios de las principales aglomeraciones en los periodos punta diarios, y a lo largo de todo el día en los espacios centrales. Se trata de una congestión provocada, fundamentalmente, por los tráficos privados que impide, además, el desarrollo del transporte público por carretera. Un efecto adverso de esta congestión del tráfico, como ya se ha señalado, es la degradación que experimenta la velocidad comercial del transporte público de personas que comparte viario con el coche.

En este documento se va a realizar, por tanto, un estudio de movilidad motorizada de los desplazamientos de los viajeros habituales del municipio de Málaga y de su corona metropolitana, en los periodos punta diarios, distinguiendo entre aquellos que se producen en modo privado de los que se realizan a través del sistema de Transporte Público que da servicio a los ciudadanos.

Para ello se generará un modelo digital de la red de carreteras y sobre ella, la red de Transporte Público, mediante el programa informático Transcad, donde se ejecutarán sendas macro-simulaciones de la demanda de viaje de los usuarios.

Finalmente, los resultados obtenidos del modelo generado serán analizados a partir de un sistema de indicadores territoriales de sostenibilidad de la movilidad y calidad del transporte público de la provincia de Málaga, estructurar éstos en un sistema jerarquizado y coherente con el marco conceptual y estudiar las posibilidades de los SIG para la elaboración de distintos tipos de indicadores. El propósito final es evaluar la sostenibilidad de un modelo de ciudad desde la perspectiva de la movilidad y calidad del transporte, de los que se derivan medidas operativas y propuestas de actuación en base a estos indicadores.

CONTENIDO

Resumen	ix
Contenido	xi
Índice de Ilustraciones	xiii
0 Objetivos y antecedentes	15
0.1 <i>Objetivos del Documento</i>	15
0.2 <i>Antecedentes</i>	15
0.3 <i>Herramientas de trabajo</i>	15
0.4 <i>Fuentes y Herramientas de Información</i>	17
0.4.1 Centro Nacional de Información Geográfica. [1]	17
0.4.2 Datos Espaciales de Referencia de Andalucía. [2]	18
0.4.3 Datos abiertos de administraciones locales. [3]	18
0.4.4 OpenStreetMap. [4]	19
0.4.5 Información facilitada por el departamento	19
0.4.6 Portal de datos abiertos de la Red de Consorcios de Transporte de Andalucía [5]	20
0.4.7 Google Transit Data Feed [6]	21
1 Introducción	23
1.1 <i>Ámbito de estudio</i>	24
1.2 <i>EDM 2014</i>	27
1.3 <i>Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Málaga</i>	33
1.3.1 Líneas Urbanas	33
1.3.2 Líneas Interurbanas	34
1.3.3 Red de Cercanías	35
1.3.4 Metro de Málaga	36
2 Metodología de Trabajo	37
3 El Modelo de Red Privado	39
3.1 <i>Red de partida</i>	39
3.1.1 Importar fichero red desde archivo EMME	40
3.2 <i>Actualización geométrica</i>	41
3.3 <i>Las Zonas de Transporte: Centroides y conectores</i>	42
3.3.2 Introducir y conectar los Centroides a la red	43
3.4 <i>Actualización de los metadatos</i>	44
3.4.3 Actualización de los IDs de los centroides	44
3.4.1 Importar datos de otras capas a la red	44
3.5 <i>Asignación del transporte privado</i>	46
3.5.1 Función de Demora	46
3.5.2 El método de asignación del tráfico (User Equilibrium)	48
3.5.3 Caracterización de la red	49
3.5.4 Resultados de la asignación	49
3.5.5 Los flujos totales de tráfico privado	51
4 El modelo de Transporte Público	55
4.1 <i>Datos de partida</i>	55
4.1.1 Modelo GTFS de la EMT	55
4.1.2 El Transporte Interurbano	61
4.2 <i>Recursos y utilidades del modelo</i>	64
4.2.3 Cálculo de matrices de costes	64
4.2.4 Búsqueda Interactiva de rutas entre dos puntos	64

4.2.5	Servicio por zonas	65
4.2.6	Animaciones del servicio sobre Ventana temporal	66
4.2.7	Asignación de viajes	66
5	Diagnóstico y Propuestas	73
5.1	<i>Indicadores de accesibilidad y calidad del servicio</i>	73
5.1.1	Indicadores de movilidad	73
5.1.2	Indicadores del sistema de Transporte Público	77
5.2	<i>Propuestas</i>	85
Archivos Adjuntos		91
Referencias		93
Planos Adjuntos		95
Plano 1	<i>Base Topográfica Nacional</i>	95
Plano 2	<i>Caracterización del entorno (equipamientos)</i>	95
Plano 3	<i>Zonas de transporte</i>	95
Plano 4	<i>Caracterización de la red de carreteras en el entorno de Transcad</i>	95
Plano 5	<i>Asignación viajes privado HPM</i>	95
Plano 6	<i>Caracterización de la red de transporte urbano (EMT) en el entorno de Transcad</i>	95
Plano 7	<i>Caracterización de la red de transporte interurbano (CTMAM) en el entorno de Transcad</i>	95
Plano 8	<i>Asignación de viajes en transporte público de la EDM14 en HPM (Subidas y bajadas totales en paradas)</i>	95
Plano 9	<i>Asignación de viajes en transporte público de la EDM14 en HPM (volumen total sobre arcos de la red)</i>	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 0-1. Interface de descarga de Overpassturbo	19
Ilustración 0-2. Ejemplo de importación del GTFS de la EMT. Madrid	21
Ilustración 1-1 Detalle de las macrozonas que forman el ámbito de estudio	24
Ilustración 1-2 Población por zonas de transporte	25
Ilustración 1-3 Medio físico del ámbito de estudio (Málaga y su entorno metropolitano)	26
Ilustración 1-4 Reparto modal de viajes totales	28
Ilustración 1-5. Principales flujos de viajes motorizados por macrozona	31
Ilustración 1-6. Desplazamientos y reparto modal en el núcleo urbano de Málaga	32
Ilustración 1-7. Esquema de las líneas de autobús interurbano de Málaga.	34
Ilustración 1-8. Esquema de la red de cercanías de Málaga.	35
Ilustración 1-9. Esquema de la red de metro de Málaga.	36
Ilustración 3-1 Red importada de Fichero de carreteras de OpenStreetMap	40
Ilustración 3-2 Detalle de Actualización geométrica de la red de partida (MA-20 con A-357)	41
Ilustración 3-3 Ejemplo nivel de detalle geométrico de la red (Plaza Manuel Azaña)	42
Ilustración 3-4 Cuadro de diálogo, Creación de conectores.	43
Ilustración 3-5. Proceso de donación de atributos entre diferentes capas	45
Ilustración 3-6. Detalle de la regularización semafórica de la red (Localización de los semáforos)	45
Ilustración 3-7. Detalle de la caracterización de los atributos de la red (Velocidad máxima y carriles)	46
Ilustración 3-8 Efecto de los coeficientes α y β sobre la curva de demora	47
Ilustración 3-9. Mapa de color, flujo de vehículos privados en hora punta (8:00-9:00)	51
Ilustración 3-10. Localización de los distintos dispositivos de información del tráfico de la DGT.	52
Ilustración 3-11. Histograma de intensidad de la circulación en la MA-20 y A-7. 08:00 am.	52
Ilustración 3-12 Intensidad de la circulación en la Asignación de transporte privado. 08:00 am.	52
Ilustración 3-13. Intensidad de la circulación en el municipio de Málaga. 08:00 am	53
Ilustración 3-14. Intensidad de la circulación en el municipio de Málaga. 08:00 am.	53
Ilustración 4-1 Líneas importadas desde GTFS de la red de transporte urbano de la EMT	61
Ilustración 4-2. Localización de las paradas de la red de transporte metropolitano	61
Ilustración 4-3. Interactive Pathfinding. Basado en ruta más corta.	64
Ilustración 4-4. Interactive pathfinding. Basado en horarios	65
Ilustración 4-5. Ejemplo de obtención de rutas entre 2 áreas geográficas. (Route service).	65
Ilustración 4-6. Ejemplo de asignación dinámica de vehículos en el entorno de Transcad.	66
Ilustración 4-7 Ilustración 4-8 Oscilograma de carga de la Línea 1 de la EMT. (HPM EDM14)	69
Ilustración 4-9 Mapa de calor de bajadas de viajeros del transporte público (HPM EDM14)	70
Ilustración 4-10. Ejemplo de Mapa de volumen de viajeros del transporte público (HPM EDM14)	71
Ilustración 5-1. Indicador MM_01	74

Ilustración 5-2. Indicador MM_02	75
Ilustración 5-3. Indicador MT_03	76
Ilustración 5-4 Indicador TD_01	78
Ilustración 5-5 Indicador TD_02	79
Ilustración 5-6. Indicador TE_03	80
Ilustración 5-7 Indicador TE_04	81
Ilustración 5-8. Indicador TE_05	82
Ilustración 5-9. Indicador TE_06	83
Ilustración 5-10 Indicador TE_07	84
Ilustración 5-11. Distribución de la red de cercanías y reparto poblacional	85
Ilustración 5-12. Obtención de rutas que cruzan el área metropolitana de oeste a este	86
Ilustración 5-13. Identificación de los corredores con mayor flujo de pasajeros y mayor congestión de la red.	87
Ilustración 5-14. Propuesta de plataformas reservadas.	87

0 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

*La planificación y preparación adecuadas impiden el
rendimiento defectuoso.
-John Lanchester-*

0.1 Objetivos del Documento

El objetivo de este documento y Trabajo Final de Máster es el de la creación de un modelo macroscópico de transporte y posterior estudio de accesibilidad y calidad del Transporte Público de la provincia de Málaga, mediante la generación de una serie de indicadores basados en el estado actual de dicha red de Transporte. Este objetivo se lleva a cabo principalmente través de la herramienta informática Transcad, la cual reúne las competencias necesarias para realizar el estudio.

Se generará por tanto la red de Transporte Público de Málaga sobre la red de carreteras; esta red de carreteras se jerarquizará previamente, haciendo una modelización detallada y otorgándole los factores que caracterizan el tráfico sobre la red.

A partir de la red de carreteras y el sistema de transporte público generado se llevarán a cabo sendas asignaciones para la demanda de viajes pública y privada. Los datos que aporten dichas asignaciones serán objetivo de este estudio.

0.2 Antecedentes

Este trabajo se enmarca en una de las líneas de investigación del Grupo de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes, del departamento de Ingeniería y Ciencias de los Materiales y del Transporte de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla

A la hora de diseñar y explotar un sistema de Transporte Público se presentan una serie de dificultades al determinar los objetivos, la tendencia de la demanda y las posibilidades de financiación.

El objetivo principal de este tipo de Transporte debe ser el de cubrir las necesidades de movilidad de la población afectada bajo los criterios de justicia social y eficiencia. Sin embargo, la realidad es que este tipo de servicios, en la mayoría de los casos, se ven sometidos a intereses políticos y electorales.

Cuando se habla de planificación de la oferta de una empresa de Transportes lo que se tiene en mente es la elaboración de los horarios de las líneas, es decir, las horas de paso de los distintos autobuses por los distintos puntos de control predefinidos, paradas. Sin embargo, previo a este proceso y como dato de entrada del mismo hay que definir el nivel de oferta de cada línea, que vendrá dado, con carácter general, por las frecuencias de paso de cada periodo horario y sentido de la marcha

0.3 Herramientas de trabajo

Un proyecto de esta envergadura necesita de importantes bases de datos, información y de programas de primer nivel internacional. Las fuentes de información sobre las que se han realizado el presente estudio han sido facilitadas por el Grupo de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la ETSI, así como de organismos

públicos y portales de datos abiertos de la Junta de Andalucía.

Este trabajo ha sido generado a partir de una aplicación informática de macro simulación, Transcad 8, el cual es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado especialmente para profesionales de Transporte con el objeto de almacenar, mostrar, y analizar datos de Transporte. Este software ha permitido la gestión, actualización y modificación de la red de Transporte de Málaga, así como la creación de un modelo digital del sistema de transporte público que opera en la provincia de Sevilla.

Se ha partido de los siguientes datos y fuentes:

- La encuesta domiciliaria de movilidad de 2014 y 2015, con alto grado de detalle y la cual contiene de encuestados con diversos campos (zona de inicio de viaje, zona de destino, horas, medio de Transporte, motivo, y situación familiar y personal). Además, se tienen datos de movilidad Operadores Móviles de 2016.
- Ortofotos del Plan Nacional de Orto-fotografía Aérea Nacional del CNIG
- Capas vectoriales: Límites administrativos, núcleos urbanos, viario, equipamientos e instalaciones públicas, manzanas, edificios, zonas verdes, etc.
- Datos de censos.
- Aforos de las principales autopistas, autovías y grandes avenidas de la ciudad de Málaga, facilitadas por la web de la Dirección General de Tráfico (DGT)
- La red de Málaga de 2014 (posteriormente actualizada a 2019, incluyendo las vías y calles que han cambiado sentido, se han peatonalizado o viarios de nueva construcción)
- Mapas de las diferentes redes que forman el Transporte Público de Málaga, EMT, Autobuses Interurbanos, Cercanías, Metro, posteriormente digitalizados en el entorno de Transcad
- Modelo GTFS de la red de transporte urbano de Málaga

0.4 Fuentes y Herramientas de Información

Existen incontables fuentes de información y documentación que sirven de partida para el desarrollo de análisis y trabajos como el aquí se desarrolla, algunas de las cuales provienen de fuentes oficiales del estado, como el centro de descargas del CNIG. Otras son desarrolladas por usuario y entidades privadas, sirva de ejemplo, el motor de búsqueda y editor de OpenStreetMap; encontramos también la plataforma Arcgis, de Esri, que, además de información, facilitan potentes herramientas de gestión, edición y procesamiento de la información dentro de uno o varios programas de la marca.

En este capítulo se pretende exponer y describir de una forma sencilla las funcionalidades de estas herramientas de información, las cuales han servido para el desarrollo de este trabajo y que, en definitiva, han sido el punto de partida del mismo.







Se procura que la información utilizada en el desarrollo del trabajo provenga de fuentes oficiales y organismos públicos, como el Centro Nacional de Estadística o el Instituto Nacional de Estadística de Andalucía. Existen plataformas, que, aun no dependiendo de las administraciones públicas, facilitan información fiable y actualizada, ejemplo de ello es la base de datos georreferenciados de OpenStreetMap.

0.4.1 Centro Nacional de Información Geográfica. [1]

El IGN es una dirección general del Ministerio de Fomento y el CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica) es el organismo autónomo que se encarga de la difusión y comercialización de los servicios y productos del IGN.

El IGN-CNIG ofrece, fundamentalmente la siguiente información:

- Datos geográficos: Datos que, directa o indirectamente, hagan referencia a una localización o zona geográfica específica.
- Servicios de información geográfica: Conjunto de operaciones que pueden efectuarse, a través de una aplicación informática, sobre datos geográficos o sus metadatos, como por ejemplo la visualización, localización y nomenclátor, descarga acceso a datos ráster o geoprocésamiento

 Mapas en formato imagen Imágenes georreferenciadas de mapas con varias escalas de representación	 Modelos Digitales de Elevaciones Información altimétrica que representa el relieve del territorio nacional, y en el caso de los datos Lidar, también de los elementos que sobre él se encuentran.	 Fotos e imágenes aéreas Imágenes de fotografías aéreas y orto-fotografías de varios años, así como imágenes de satélite.
 Mapas vectoriales y Bases Cartográficas y Topográficas Ficheros vectoriales de distintas escalas de representación, poseen marco con coordenadas e información marginal (leyenda). Bases Cartográficas y Topográficas para explotación y consulta mediante (SIG).	 Información geográfica de referencia Datos topográficos básicos necesarios para la representación del territorio, como redes de transporte, nomenclátor, líneas límite e información geodésica.	 Información geográfica temática Información geográfica que abarca datos topográficos y temáticos, concebidos para su explotación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y capaces de servir de soporte tanto a consultas geográficas, como a la generación de productos cartográficos.




 Mapas impresos escaneados Ficheros digitales resultado del escaneado de todas las ediciones impresas del Mapas Topográfico Nacional y otros mapas a diferentes escalas.	 Documentación geográfica antigua Ficheros digitales resultado del escaneado de documentación de gran valor cartográfico e histórico.	 Rutas Ficheros de rutas, como etapas del Camino de Santiago, rutas de Parques Nacionales y Vías Verdes, para visualizar en el ordenador o en dispositivos móviles.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 0-1. Productos del CNIG

0.4.2 Datos Espaciales de Referencia de Andalucía. [2]

Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA) es un repositorio de bases cartográficas de diferente naturaleza geométrica (puntos, líneas, polígonos, imágenes ráster) referidas al territorio andaluz.

En DERA se facilita la información en bloques temáticos que permiten el acceso centralizado a información de muy distinta procedencia con garantía de actualización, coherencia geométrica y continuidad territorial:

DERA	Transportes y Comunicaciones
Infraestructura geográfica	Infraestructuras energéticas y mediambientales
Hidrografía	Patrimonio
Medio Físico	Servicios
Medio marino	Límites administrativos
Sistema urbano	Usos de Suelo
Tejido económico-productivo	Relieve

Tabla 0-2. Productos de DERA

La información se encuentra accesible por capas en formato shapefile (.shp), en sistema de referencia geodésico ETRS89 y proyectadas en UTM huso 30.

0.4.3 Datos abiertos de administraciones locales. [3]

Gracias a la Ley 19/2013, de 9 de diciembre, de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Buen Gobierno, que tiene por objeto ampliar y reforzar la transparencia de la actividad pública, regular y garantizar el derecho de acceso a la información relativa a aquella actividad y establecer las obligaciones de buen gobierno que deben cumplir los responsables públicos, son muchos los ayuntamientos desarrollan plataformas de publicación de datos, tanto espaciales y big data, y ponen a disposición del usuario gran cantidad de información.

En el caso que nos ocupa, el ayuntamiento de Málaga facilita una plataforma propia de datos abiertos [3], donde se recopilan los siguientes grupos de información y datos espaciales:

 Ciencia y tecnología	 Educación	 Cultura y ocio
 Comercio	 Demografía	 Sociedad y bienestar
 Sector Público	 Seguridad	 Turismo
 Salud	 Medio rural	 Transportes
 Hacienda	 Justicia	 Urbanismo – Infraestructuras
 Medio Ambiente	 Empleo	 Vivienda
 Industria	 Energía	 Economía

Tabla 0-3. Productos del Portal de datos del Ayuntamiento de Málaga.

0.4.4 OpenStreetMap. [4]

La plataforma OpenStreetMap dispone de una base de datos espaciales que permiten consultar gran cantidad de información de tipo vectorial. Además del visualizador web, toda la información está disponible para su descarga a través de **Overpass turbo**, herramienta de minería de datos basada en web para OpenStreetMap.

Puede ejecutar cualquier tipo de consulta de la API de Overpass y muestra los resultados sobre un mapa interactivo.

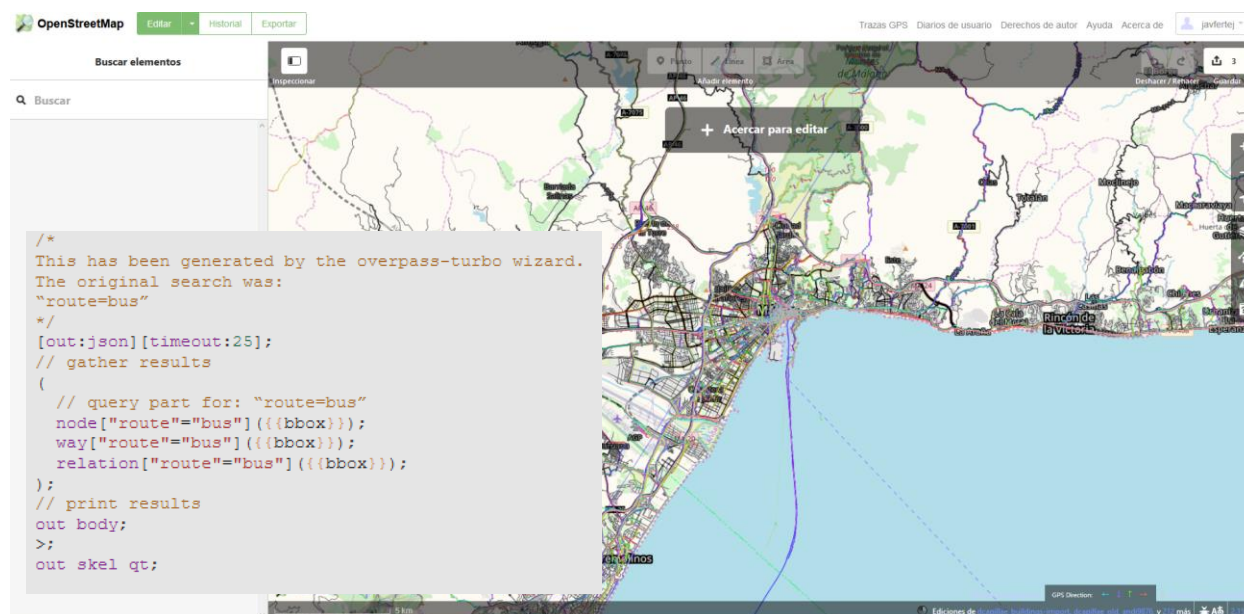


Ilustración 0-1. Interface de descarga de Overpass turbo
Fuente: OpenStreetMap

0.4.5 Información facilitada por el departamento

Para el desarrollo de este trabajo, el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte ha facilitado gran parte de los datos de movilidad que se utilizan:

- Redes: una red del municipio de Málaga y su entorno metropolitano, en formato EMME.
- Datos de Movilidad Urbana: Matriz de movimientos en transporte público y privado, procedentes de las Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2014 y 2015, y datos procedentes de Operadores Móviles de 2016.

La red y los datos de movilidad se describirán más adelante.

0.4.6 Portal de datos abiertos de la Red de Consorcios de Transporte de Andalucía [5]

Las entidades públicas que tienen asignadas las competencias en materia de ordenación y coordinación de la red de transporte público en las distintas áreas metropolitanas de Andalucía son los Consorcios Metropolitanos de Transportes. Actualmente están constituidos los Consorcios de las áreas de Sevilla, Bahía de Cádiz, Granada, Málaga, Campo de Gibraltar, Almería, Jaén, Córdoba y Costa de Huelva.

Actualmente, el Consorcio de Transportes de Andalucía hace público, a través de una plataforma de datos API, toda la información geográfica y de estructura de las líneas de transporte bajo su ámbito de actuación. Pueden obtenerse información de trayectos, recorridos, paradas y operadores que prestan el servicio.

Para la generación de la documentación del API Restful de los Consorcios, utilizan la herramienta apidocjs.

Lineas - Datos de una línea

1.0.0 ▾

Muestra información de una línea dada, como su código, nombre, modo de transporte, operadores ...

GET

```
http://api.ctan.es/v1/Consortios/:idConsortio/:idLinea
```

Permission: Todos

Ejemplo de uso

```
http://api.ctan.es/v1/Consortios/7/Lineas/177
```

Parameter

Field	Type	Description
idConsortio	Number	Identificador del Consorcio.
lang	String	Identificador del idioma, puede ser 'ES' o 'EN', por defecto es 'EN'.
idLinea	Number	Identificador de la línea.

0.4.7 Google Transit Data Feed [6]

En el sitio del [proyecto GoogleTransitDataFeed](#), [6] se incluye una lista de las empresas de transporte público que proporcionan feeds públicos, encontramos ejemplos en España como la red de Transporte Urbano de Madrid, EMT, quien hace público su modelo de transporte público.

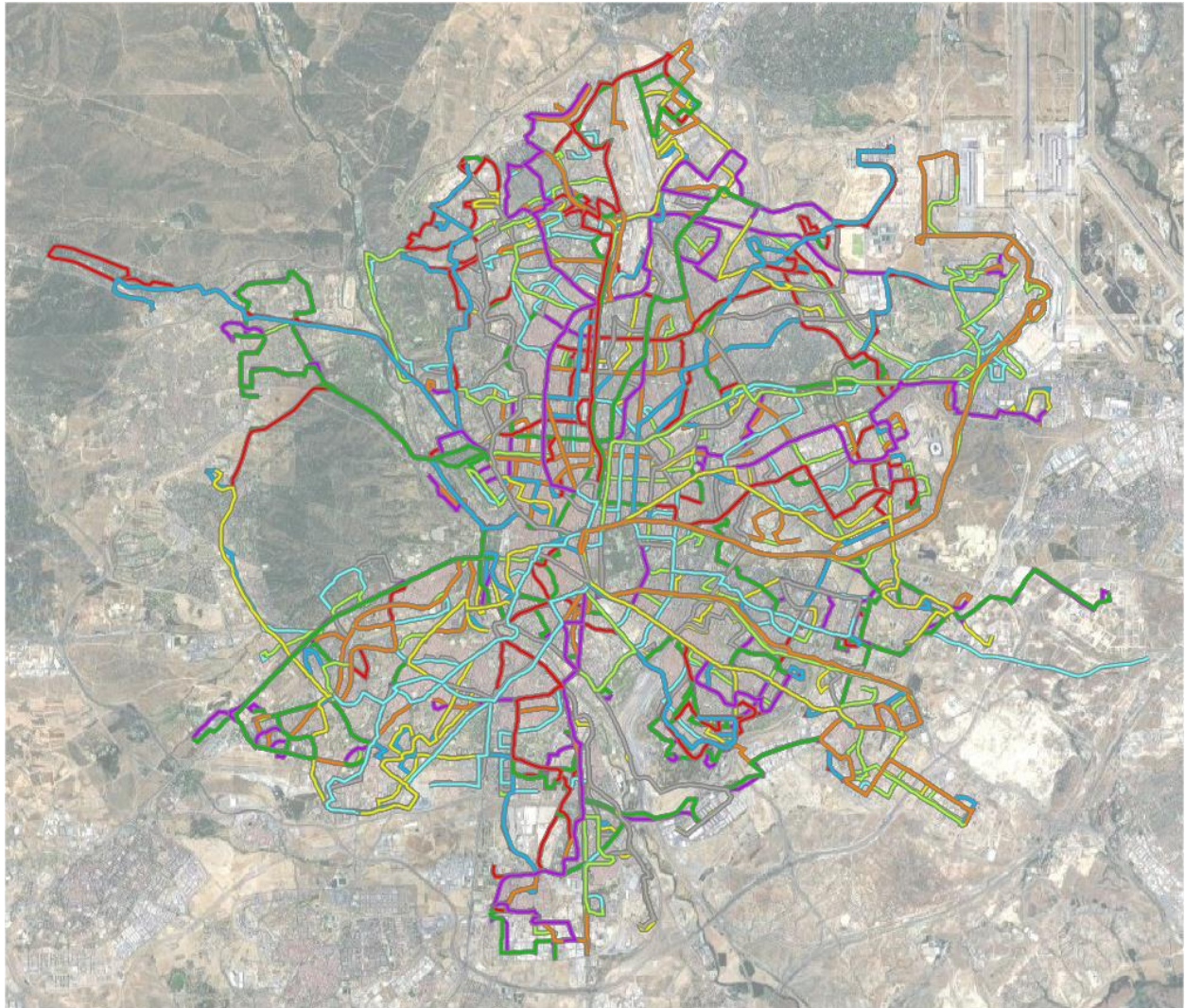


Ilustración 0-2. Ejemplo de importación del GTFS de la EMT. Madrid

Fuente: Google Transit Data Feed

Las características de esta fuente de información y los procedimientos relacionados para su implementación en el modelo se recogen más adelante en el apartado 4.El modelo de Transporte Público

1 INTRODUCCIÓN

Car is no longer king and people come first
-Jan Gehl-

“La evolución de la movilidad en la aglomeración urbana de Málaga, como en otras aglomeraciones españolas y europeas, se ha traducido en un mayor número de desplazamientos, viajes de mayor distancia y un incremento de la movilidad motorizada con el automóvil como protagonista. Este aumento de la movilidad general, y en especial la realizada en coche, ha producido un aumento de los niveles de ocupación del suelo por parte de las infraestructuras de transporte, de la congestión y de los niveles de contaminación. Esta tendencia y sus efectos son contrarios a la sostenibilidad de forma general, y a la movilidad sostenible de forma particular, que se pretende conseguir de acuerdo a los objetivos generales actualmente perseguidos por las diferentes administraciones en materia de transportes.

Así, se produce una búsqueda por parte de las administraciones de formas más sostenibles para resolver los problemas a los que se enfrenta la sociedad aportando soluciones que consuman menos recursos naturales no renovables y produzcan menos afecciones al medio ambiente en su conjunto, intentando asentar las bases de una movilidad más sostenible mediante la reducción de los desplazamientos motorizados y, en particular, los que se realizan en automóvil, para los de personas, y en camión, para los de mercancías. Como alternativa se debería fomentar la promoción de formas de desplazamiento no motorizadas y del transporte público, para las personas, y la del ferrocarril y otros medios, para las mercancías (...).” (CCIC, Plan de Transporte Metropolitano de Málaga, 2015, p.5)

Este estudio pretende servir de herramienta para analizar el estado actual del sistema de transporte Malagueño, identificar posibles problemas de congestión y tratar de plantear soluciones técnicas que permitan un desarrollo más eficaz del sistema de transporte.

Para ello se generará un modelo digital de la red de carreteras y sobre ella, la red de Transporte Público, mediante el programa informático Transcad, donde se ejecutarán sendas macro-simulaciones de la demanda de viaje de los usuarios.

Finalmente, los resultados obtenidos del modelo generado serán analizados a partir de un sistema de indicadores territoriales de sostenibilidad de la movilidad y calidad del transporte público de la provincia de Málaga, estructurar éstos en un sistema jerarquizado y coherente con el marco conceptual y estudiar las posibilidades de los SIG para la elaboración de distintas propuestas

El propósito final es evaluar la sostenibilidad de un modelo de ciudad desde la perspectiva de la movilidad y calidad del transporte, de los que se derivan medidas operativas y propuestas de actuación en base a estos indicadores.

1.1 Ámbito de estudio

El ámbito de este estudio comprende un total de quince municipios pertenecientes a la aglomeración urbana de Málaga, la capital provincial y los municipios de Alhaurín de la Torre, Alhaurín el Grande, Almogía, Álora, Benalmádena, Cártama, Casabermeja, Colmenar, Fuengirola, Málaga, Mijas, Pízarra, Rincón de la Victoria, Torremolinos y Totalán. A efectos del Plan se han definido 6 macrozonas fruto de la agrupación de municipios.

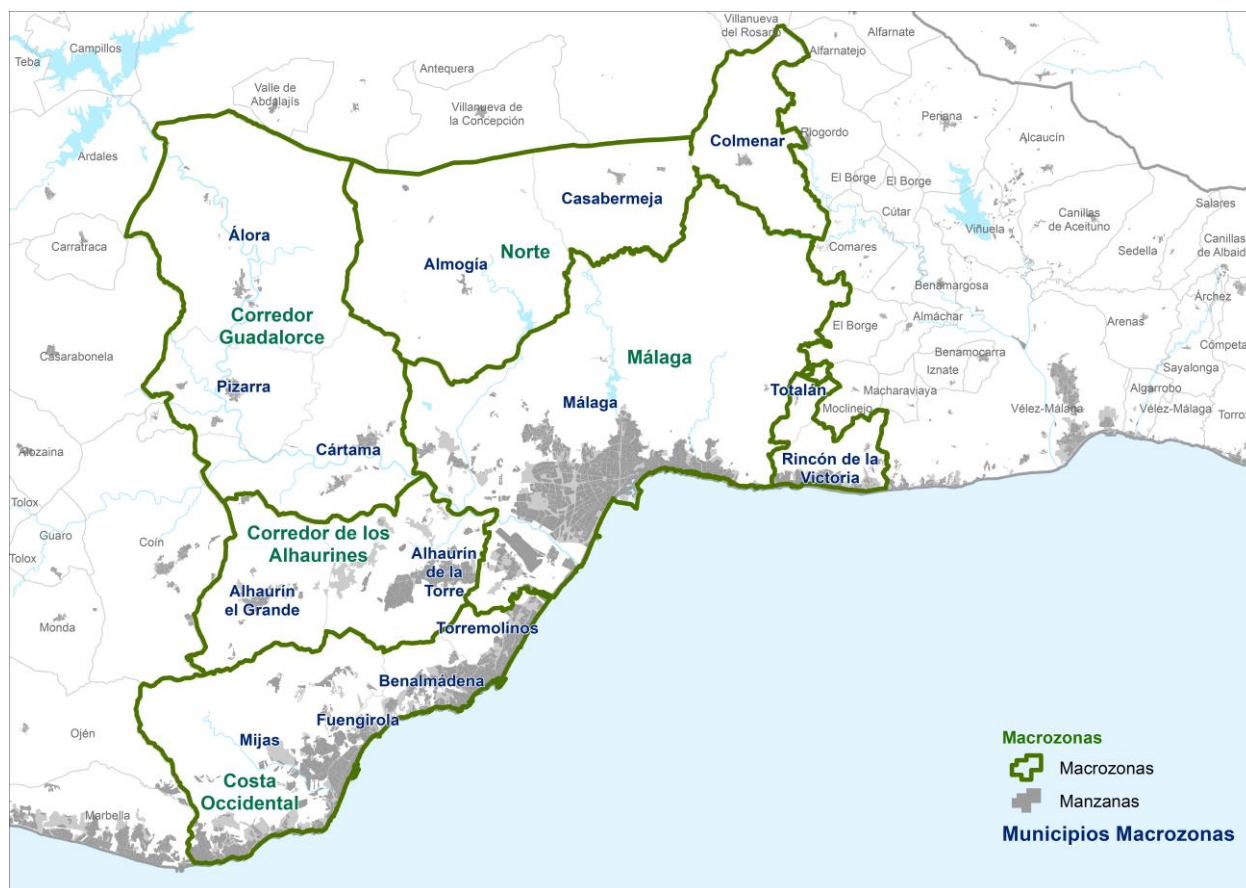


Ilustración 1-1 Detalle de las macrozonas que forman el ámbito de estudio

Fuente: *Elaboración propia (ArcMap)*

La aglomeración urbana de Málaga se encuentra situada en el extremo oeste del Mar Mediterráneo y en el sur de la península ibérica en la mitad oriental de la comunidad andaluza distando la ciudad principal unos 100 kilómetros del estrecho de Gibraltar.

Se trata de la segunda aglomeración urbana más importante de Andalucía y sexta de España en lo que se refiere al volumen poblacional, con 1.600.000 habitantes, y una superficie de más de 13.000 kilómetros cuadrados.

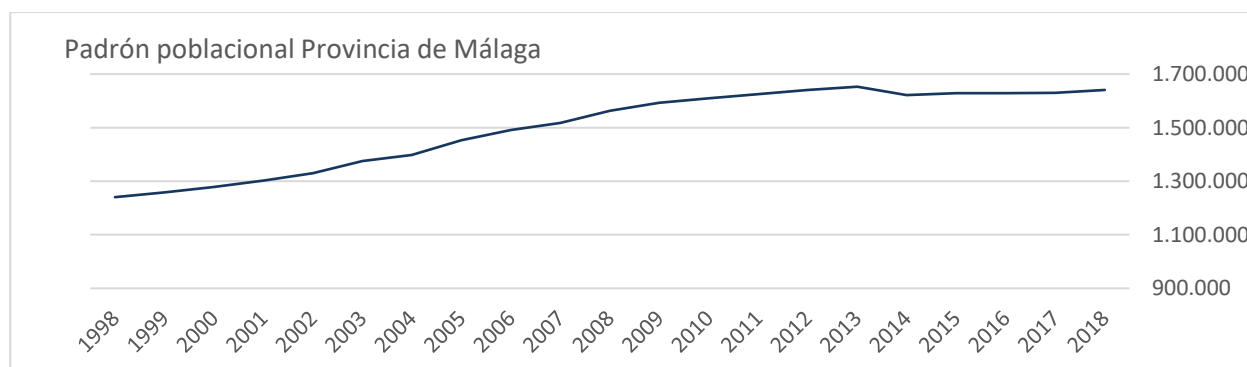


Tabla 1-1. Histórico padrón poblacional de la provincia de Málaga

Fuente: *Derivado del INE*

En el periodo 1998-2013, la aglomeración creció más de un 30% con un ritmo medio del 1,4% anual que se ha visto reducido en los últimos años.

El centro regional de Málaga está formado por 11 municipios, la mayoría de los cuales se incluyen en el ámbito de estudio: Málaga, Rincón de la Victoria, Torremolinos, Arroyo de la Miel, Benalmádena, Alhaurín el Grande, Alhaurín de la Torre, Cártama, Pízarra y Álora. El resto de municipios del ámbito, Mijas, Fuengirola y Colmenar, pertenecen a la red de ciudades medias litorales.

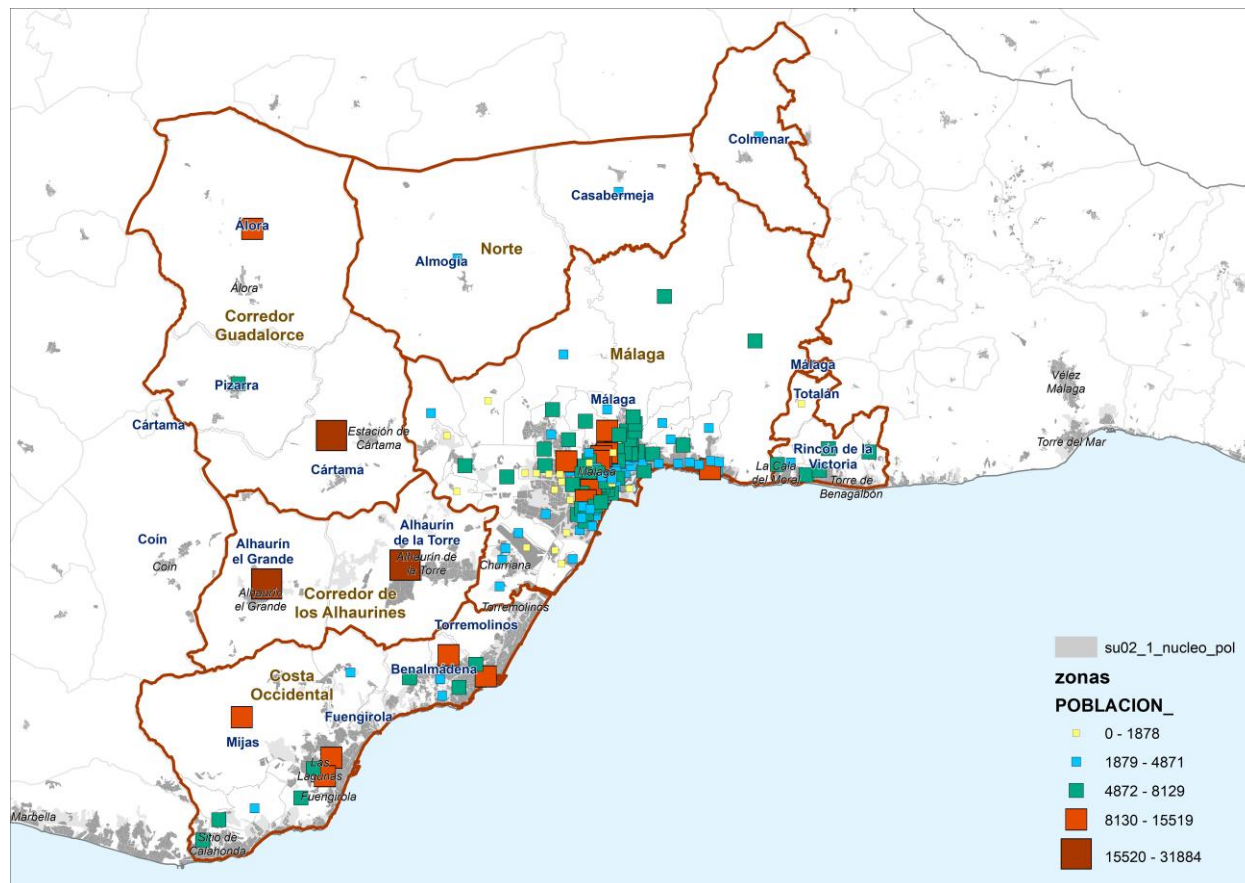


Ilustración 1-2 Población por zonas de transporte
Fuente: *Elaboración propia (ArcMap).*

Macrozona	Población	N.º de zonas	Población/zona
Málaga	561.250	128	4.385
Costa Occidental	241.366	35	6.896
Corredor de los Alhaurines	53.660	2	26.830
Corredor de Guadalorce	45.071	3	15.024
Costa Oriental	36.418	7	5.203
Norte	11.250	3	3.750
Total general	949.015	178	5.332

La concentración de la población ha sido más débil en el interior que en la costa. Como se analiza más adelante, en el apartado **4 El modelo de Transporte Público**, en la aglomeración urbana de Málaga se han ido generando relaciones de movilidad cada vez más complejas y diversas entre los diferentes territorios que la componen. Estas relaciones, unidas a la evolución de la población y los asentamientos que ha supuesto un menor peso poblacional de Málaga y una concentración más dispersa de los equipamientos respecto de la ciudad central, generan un ámbito en el cuál la movilidad Metropolitana tiene cada vez mayor importancia.

El medio físico de la aglomeración urbana de Málaga

Viene definido por rasgos de grandes contrastes: la franja litoral, su potente orografía definida por los montes de Málaga y la Sierra de Mijas, y la red hidrográfica conformada por las grandes cuencas de los ríos Guadalhorce y Guadalmedina y arroyos con aportes esporádicos y recorridos muy cortos que discurren en dirección Norte-Sur. Su carácter ribereño, constituye una oportunidad de integración en el Arco Mediterráneo.



Ilustración 1-3 Medio físico del ámbito de estudio (Málaga y su entorno metropolitano)

Fuente: *Elaboración propia (ArcMap). Derivado del Cnig-*

Estos rasgos definen su ubicación geográfica y las barreras físicas que han condicionado fuertemente su desarrollo y la distribución de los asentamientos, entre los que se distinguen cuatro tipologías desde el punto de vista físico:

- **Málaga** como ciudad central metrópolis regional y capital de la provincia de Málaga.
- **Núcleos Costeros**, con centro en Málaga discurre hacia el este con la Cala del Moral y Rincón de la Victoria y hacia el Oeste desde Torremolinos hasta Mijas, concentrando la mayor parte del crecimiento urbano y la actividad económica. Esta zona goza de un desarrollo más temprano en la costa occidental, y más reciente en la oriental, caso de Rincón de la Victoria, propiciado por la demanda de residencias secundarias de malagueños de la capital.
- **Los núcleos montañosos del interior**, Almogía, Casabermeja, Colmenar y Totalán, que hasta hace poco tiempo se han mantenido ajenos al proceso metropolitano de dispersión urbana y que se vienen incorporando de manera paulatina.
- **Los núcleos del Valle del Guadalhorce**, que, aunque en menor medida que el litoral, han protagonizado un importante crecimiento demográfico. Destacan, sobre todo, Alhaurín de la Torre, como suburbio o ciudad dormitorio de la capital, Mijas pueblo, y más adelante, conectado con la capital por la autovía del Guadalhorce, Cártama. Más ajenos al proceso metropolitano son los núcleos de Alhaurín el Grande, Pízarra y Álor.

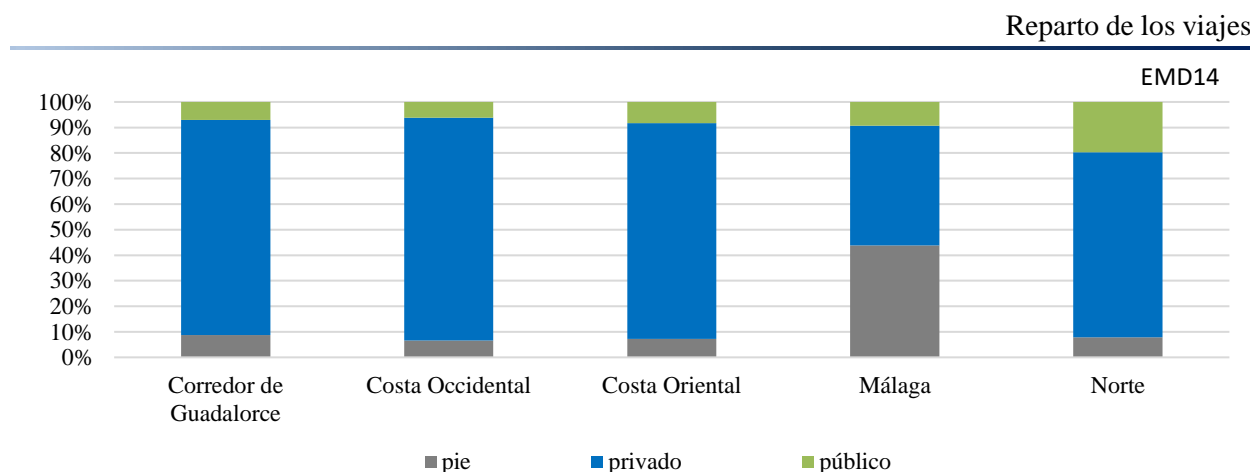
1.2 EDM 2014

Se tienen los datos de la Encuesta domiciliar de Movilidad de Málaga y su entorno metropolitano; estos datos reflejan todos los movimientos OD en transporte público, privado y a pie, de un día laboral, y se agrupan en franjas horarias. Además del número de desplazamientos, para cada par OD se conoce el tiempo medio del viaje del transporte público. A continuación, analizan las características principales de los desplazamientos capturados por la EDM14:

- El 98% tienen origen y destino conocidos (2.641.408 viajes). El resto corresponden con desplazamientos cuyo origen o destino es desconocido.
- El 12% de los viajes diarios se realizan en transporte público, mientras que los viajes a pie representan el 67% de los desplazamientos
- 178 zonas de transporte recogidas (+1 zona exterior) que generan un total de 38.510 registros únicos.

Para la aglomeración urbana de Málaga objeto de este estudio, se ha delimitado analizando el ratio de los viajes con Málaga de cada municipio respecto a su población. Resultando especialmente elevada para los municipios menos autónomos, es decir, los de menor tamaño y los que más dependen de la ciudad central: Málaga.

zona	total	Población	ratio viajes/población	reparto público
Corredor de Guadalorce	2.228	45071	0,0494	28,27%
Costa Occidental	12.648	241366	0,0524	9,27%
Costa Oriental	6.677	36418	0,1833	8,12%
Málaga	185.961	561250	0,3313	5,68%
Norte	791	11250	0,0703	7,25%



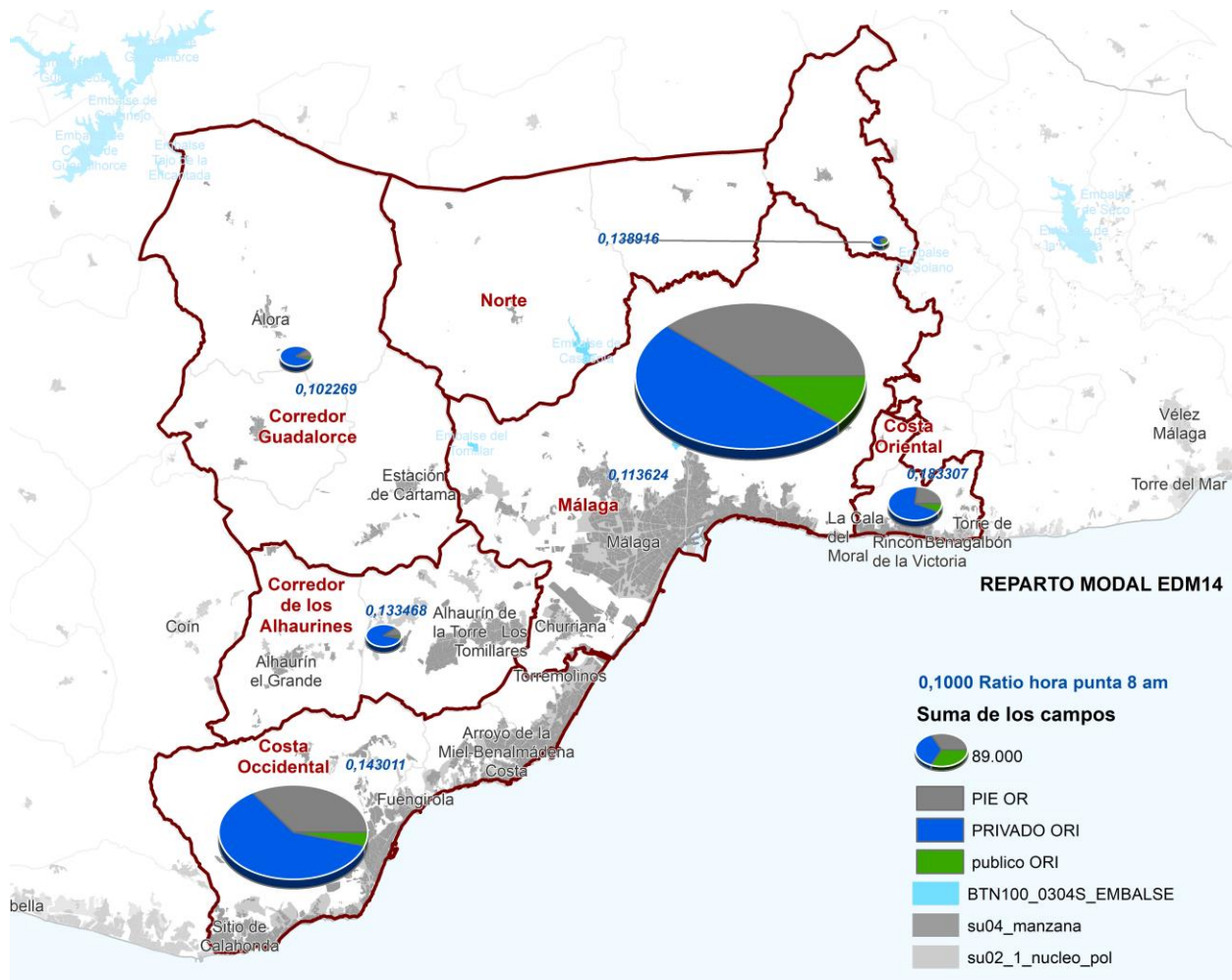
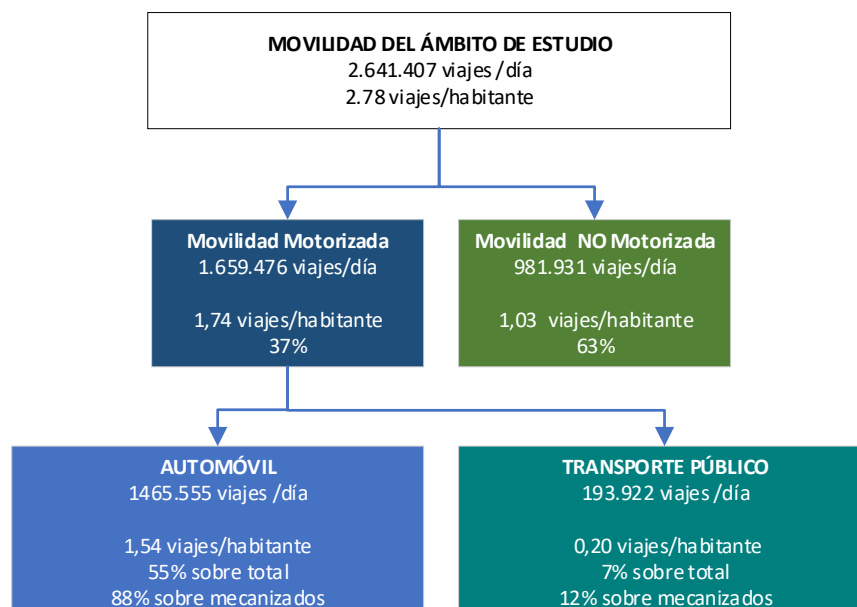
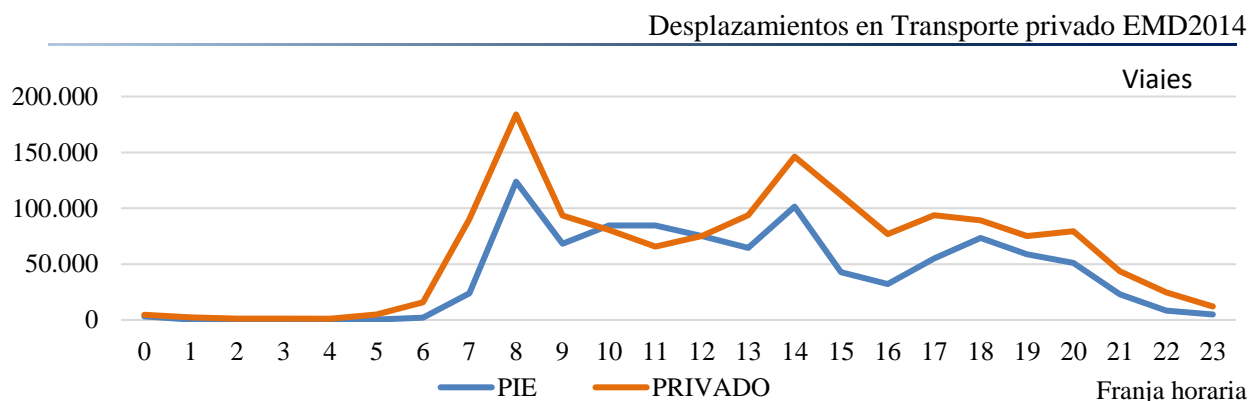


Ilustración 1-4 Reparto modal de viajes totales
Fuente: Elaboración propia (Arcmap)

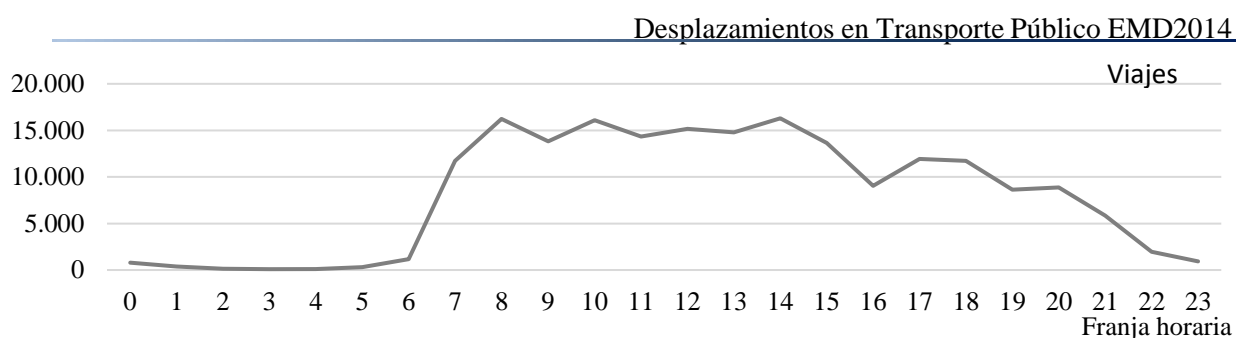
Los viajes motorizados al día ascienden a 1.659.476, lo que supone una tasa de viaje por habitante de 1,74. De la movilidad motorizada, destaca el dominio absoluto del automóvil, con 1.465.555 viajes, un 88%, en contraposición con el 12% (algo menos de 193.922 viajes) de participación del transporte público.



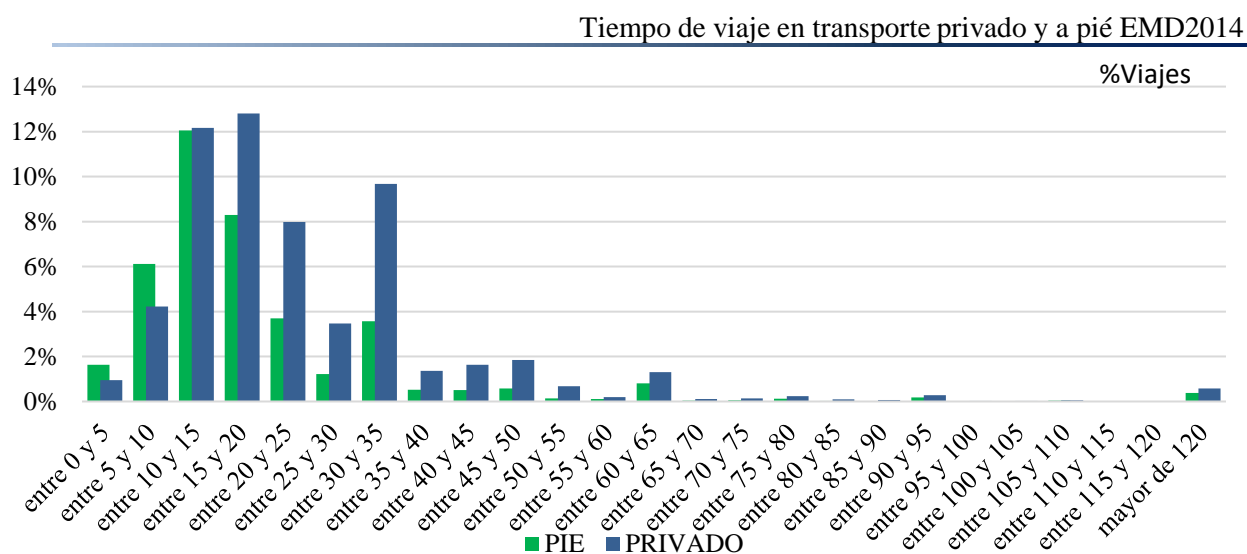
En análisis de la distribución temporal de los desplazamientos privados se aprecian dos horas punta, la primera de ellas corresponde con la hora punta de mañana, con un total de 323.899 desplazamientos (12%) de los cuales, el 57% se realizan en transporte privado y solo el 5% en transporte público



Los desplazamientos en transporte público siguen presentando periodos de hora punta definidos a las 8:00 horas y las 14:00, sin embargo, el volumen de desplazamientos se mantiene relativamente constante en las horas valle de la mañana y empieza a disminuir progresivamente a partir del mediodía.

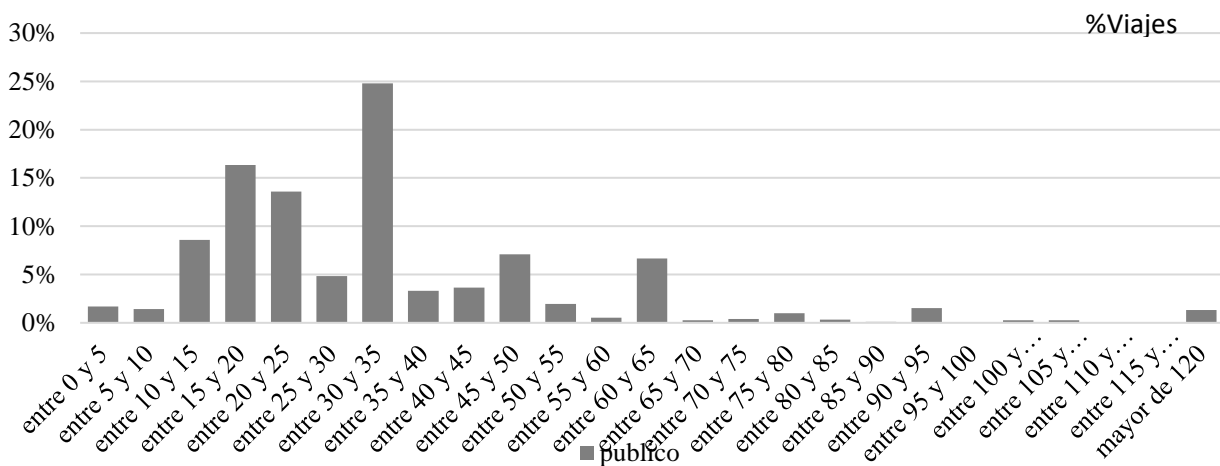


La mayoría de los desplazamientos en transporte privado tienen una duración de entre 15 y 35 minutos (47%). Mientras que la mayoría de los desplazamientos a pie no superan los 15 minutos.

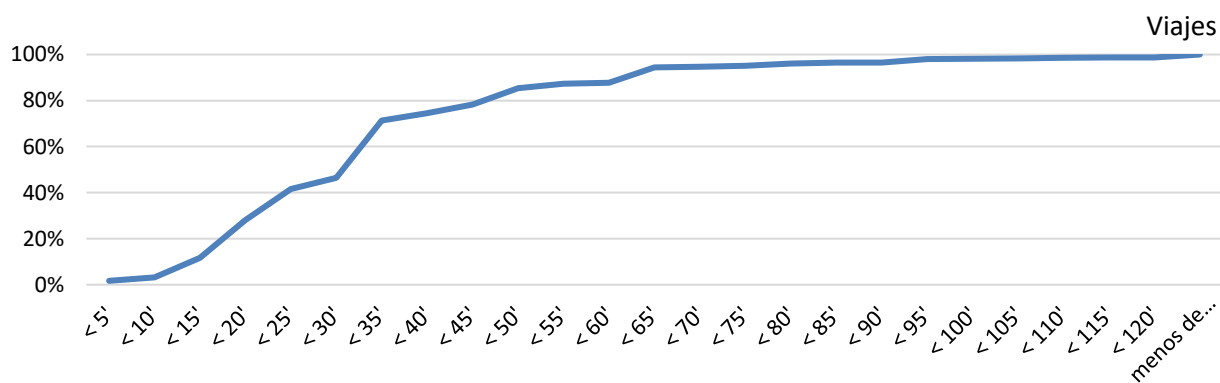


El transporte privado encarece los tiempos de viaje hasta un tiempo medio de viaje de 36 minutos, frente a los 27 minutos en transporte privado o los 22 minutos a pie.

Tiempo de viaje en transporte público EMD2014



Tiempo medio de viaje en Transporte Público EMD2014



Finalmente se ha llevado a cabo la caracterización completa de los desplazamientos del ámbito de estudio mediante un mapa temático, en el que se muestran tanto los desplazamientos inter-macrozonales (incluyendo el reparto modal en transporte público en tanto por uno) y los desplazamientos intra-macrozonales.

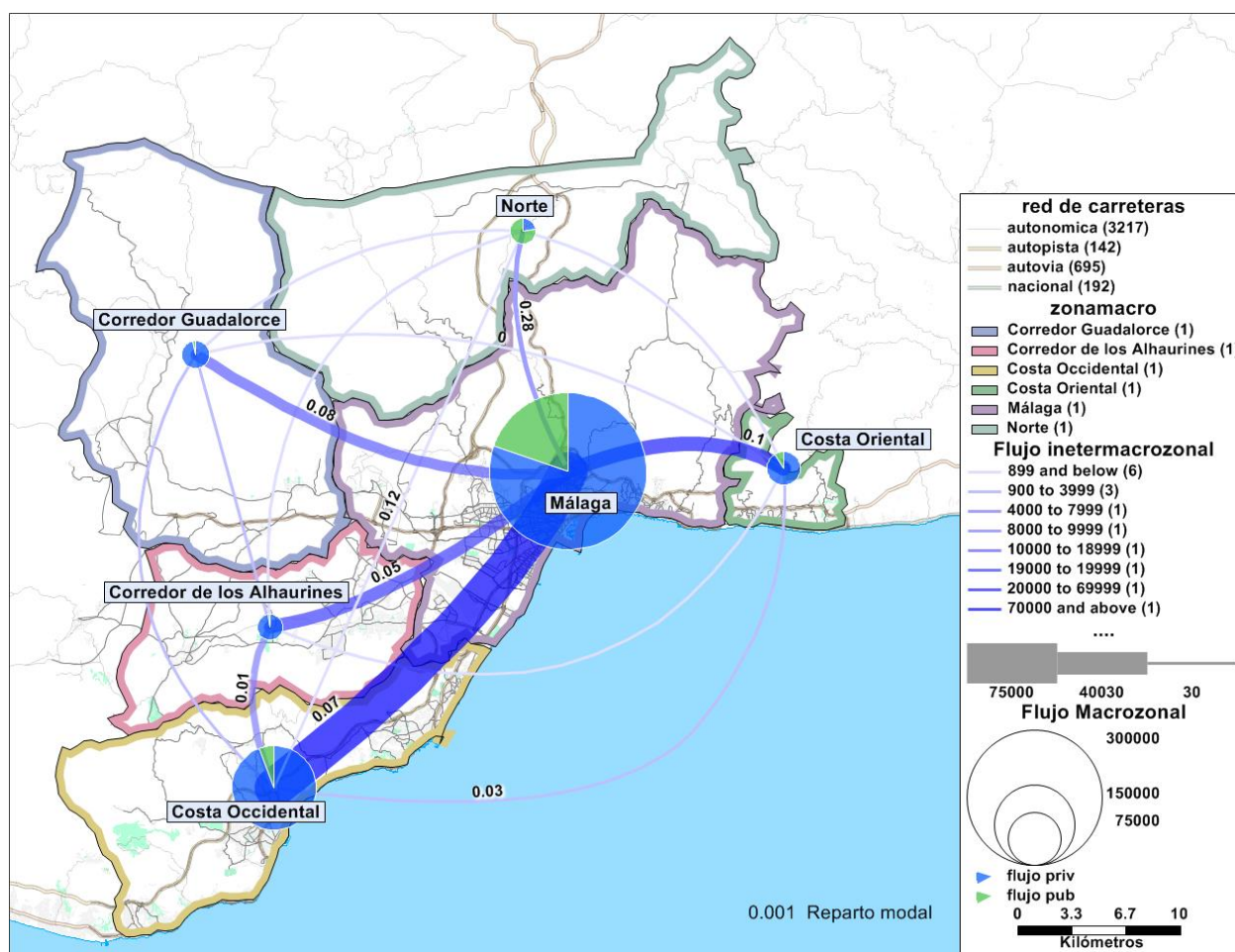


Ilustración 1-5. Principales flujos de viajes motorizados por macrozona

Fuente: Elaboración propia

Aunque gran parte de los desplazamientos son de carácter interno a su macrozona, en especial los de Málaga, tienen especial importancia los desplazamientos de origen/destino Costa Occidental y, en menor medida, los que tienen origen/destino Costa Oriental.

Cabe destacar los 16.000 viajes entre el Corredor de los Alhaurines Costa Occidental por ser el único flujo superior a 10.000 viajes sin origen/destino la capital, esto es debido al cada vez mayor peso que, desde el punto de vista residencial y productivo, vienen adquiriendo estos municipios en los últimos años. La tendencia apunta a que estas zonas continuarán absorbiendo y acogiendo nuevos suelos residenciales y productivos de la aglomeración.

Si se distingue entre transporte público y privado, el automóvil privado predomina en todos los flujos analizados, haciéndose especialmente acusado en los viajes internos de la corona metropolitana. Por su parte, el transporte público cuenta con la mayor participación (algo más del 20%) en los viajes internos que se producen en Málaga, debido a la existencia de una red de transporte urbano potente y con mayor funcionalidad que la interurbana, en general.

Paralelamente se ha realizado un análisis de los desplazamientos en hora punta que se producen hacia el Casco Histórico Sur – Muelle de la Heredia; esta zona es la que atrae mayor número de desplazamientos en hora punta y, se observa en el mapa de líneas de deseo inferior, como la mayoría de los desplazamientos provienen de áreas residenciales metropolitanas, principalmente del sector oeste del núcleo, donde, el uso del transporte público (representado en el mapa como reparto modal en tanto por 1) adquiere mayor relevancia

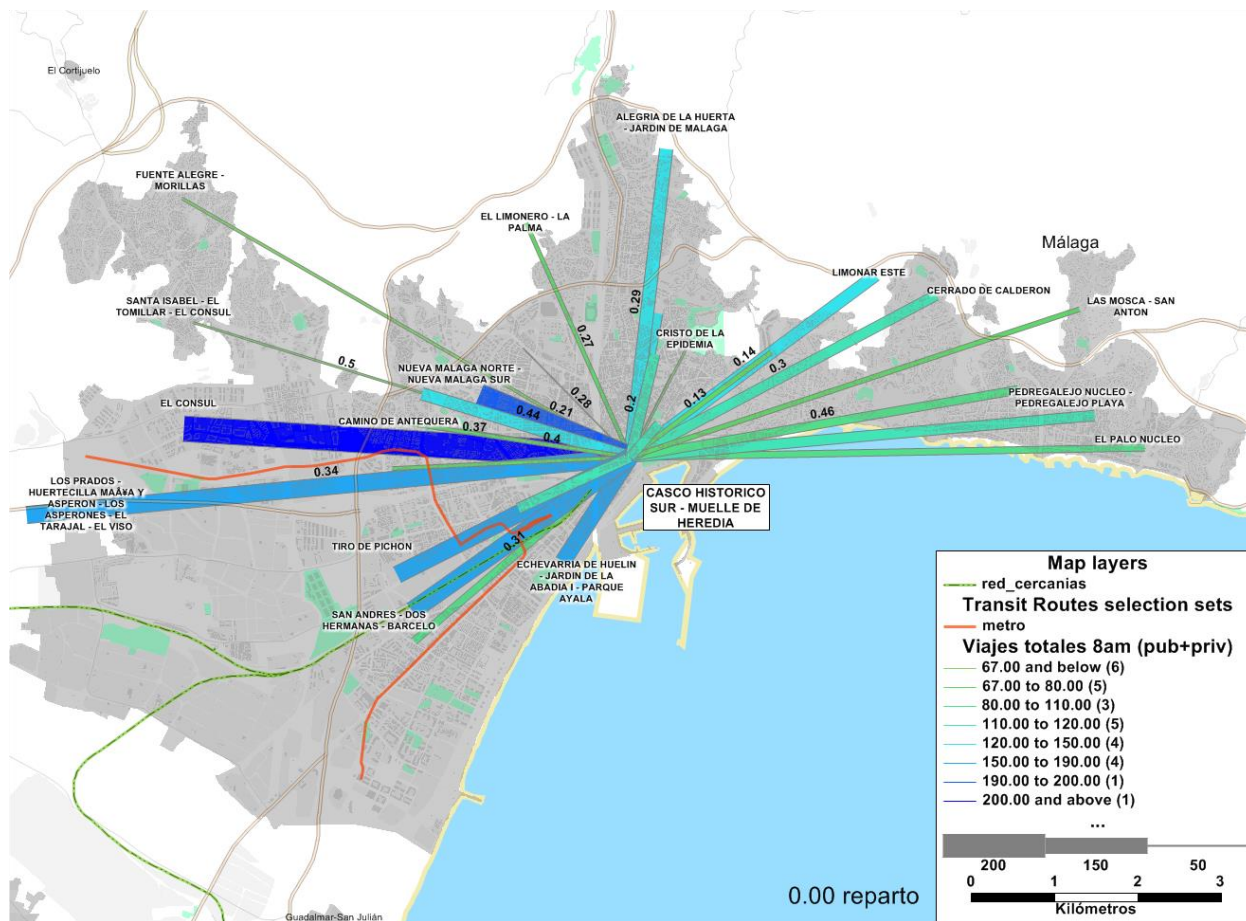


Ilustración 1-6. Desplazamientos y reparto modal en el núcleo urbano de Málaga
Fuente: Elaboración propia

1.3 Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Málaga

El objetivo de este estudio se centra en el transporte público de Málaga y su área metropolitana. Este servicio es operado por el Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Málaga, compuesto por la Junta de Andalucía, la Diputación de Málaga y los ayuntamientos de Málaga, Benalmádena, Mijas, Rincón de la Victoria, Alhaurín de la Torre, Alhaurín el Grande, Cártama, Pizarra, Almogía, Colmenar, Casabermeja, Totalán, Torremolinos y el municipio de Álora.

El servicio consorciado se divide en los siguientes sistemas de Transportes:

1.3.1 Líneas Urbanas

Las líneas de bus urbano incluidas dentro del CTMAM son las operadas exclusivamente por la EMT de Málaga, y dan servicio al entorno urbano del municipio de Málaga, Alhaurín de la Torre, Benalmádena, Rincón de la Victoria y Torremolinos

La red de la EMT está formada por un total de 49 Líneas:

ID	Línea	ID	Línea
1	Parque del Sur-Alameda Principal-San Andrés	33	Av. Andalucía-Cerrado de Calderón
2	Alameda Principal-Ciudad Jardín	34	Av. Andalucía-Pedregalejo
3	Puerta Blanca-Alameda Principal-El Palo (Olias)	35	Av. Andalucía-Gibalfaro
4	Paseo del Parque-Cruz Humilladero-Cortijo Alto	36	Alameda de Colón-Conde Ureña
5	Alameda Principal-Guadamar-Parque de Ocio	37	Av. Andalucía-Altamira-Monte Dorado
7	Parque Litoral-Alameda Principal-Carlinda	38	Alameda Principal-Granja Suárez-San Alberto
8	Alameda Principal-Colonia Santa Inés-Clínico	40	Paseo de la Farola-Sacaba Beach
9	Alameda Principal-Churriana por C/ Maestro Vert	62	Puerto de la Torre-Universidad
10	Alameda Principal-Churriana por C/ Torremolinos	64	Alameda Principal-Cruz de Humilladero-Rastro
11	Universidad-Alameda Principal-El Palo (P. Virginia)	91	Estación de Autobuses-Museo Automóvil-Jardín Botánico
14	Paseo de la Farola-Carranque-Teatinos	C1	Circular 1
15	Virreina-Carlos Haya-Santa Paula	C2	Circular 2
17	Alameda Principal-Las Virreinas-La Palma	C3	Circular C3-Parque Clavero
18	Ciudad Jardín-Teatinos	C6	Circular C6-La Milagrosa
19	Paseo del Parque-Campanillas-Maqueda (Por O. Gasset)	E	Paseo del Parque-PTA (Exprés)
20	Alegría de la Huerta-Alameda Principal-Los Prados	L	UMA-Ampliación Campus
21	Alameda Principal-Carlos Haya-Puerto de la Torre	M	Metrobús-Parque Tecnológico de Andalucía
22	Avda. de Moliere-Tiro de Pichón-Universidad	Aeropuerto	
23	Alameda Principal-El Consul- Parque Cementerio	A	Paseo del Parque- Aeropuerto (Expres)
25	Paseo del Parque-Campanillas-Maqueda Avda. M. A. Heredia-Santa Bárbara-P. I.	Nocturnas	
27	Guadalhorce	N1	Puerta Blanca-Alameda Principal-El Palo
28	Santa Águeda-Campanillas-Bda. Los Nuñez	N2	Plaza de la Marina-Circular
29	Jarazmín-El Palo-Jarazmín	N3	Pso. del Parque-Ortega y Gasset-Campanillas

30 Alameda Principal-Mangas Verdes
Alameda Principal-Carranque-Palacio
31 Deportes
32 Av. Andalucía-Limonar-Mayorazgo

N4 Alameda Principal-Teatinos-Pto. de la Torre
N5 Av. M. A.-Guadalmar-Churriana

1.3.2 Líneas Interurbanas

Estas Líneas dan servicio al entorno metropolitano del área de Málaga y están concesionadas a diferentes operadores:

Operadores

Renfe cercanías

EMT

Autocares Vázquez Olmedo S.L.

Avanza Movilidad Urbana S.L.U.

Autocares Sierra de las Nieves S.L

ALSA

Autocares Valle Niza S.L.U.

RincónBus S.C.A.

Autocares Rivero S.A.

Metro Málaga



Ilustración 1-7. Esquema de las líneas de autobús interurbano de Málaga.
Fuente: Consorcio de Transportes metropolitanos de Andalucía

1.3.3 Red de Cercanías

La red de **Cercanías Málaga** es un servicio de trenes interurbanos entre Málaga y parte de los municipios de la provincia de Málaga que forma parte de Cercanías Renfe. Esta red comprende 70 km de vías férreas, dos líneas y 24 estaciones en servicio.



Ilustración 1-8. Esquema de la red de cercanías de Málaga.
Fuente: Consorcio de Transportes metropolitanos de Andalucía

1.3.4 Metro de Málaga

Consta de dos líneas actualmente en servicio parcial, y que une diferentes puntos de la ciudad interactuando con el resto de la red de transporte del Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Málaga.

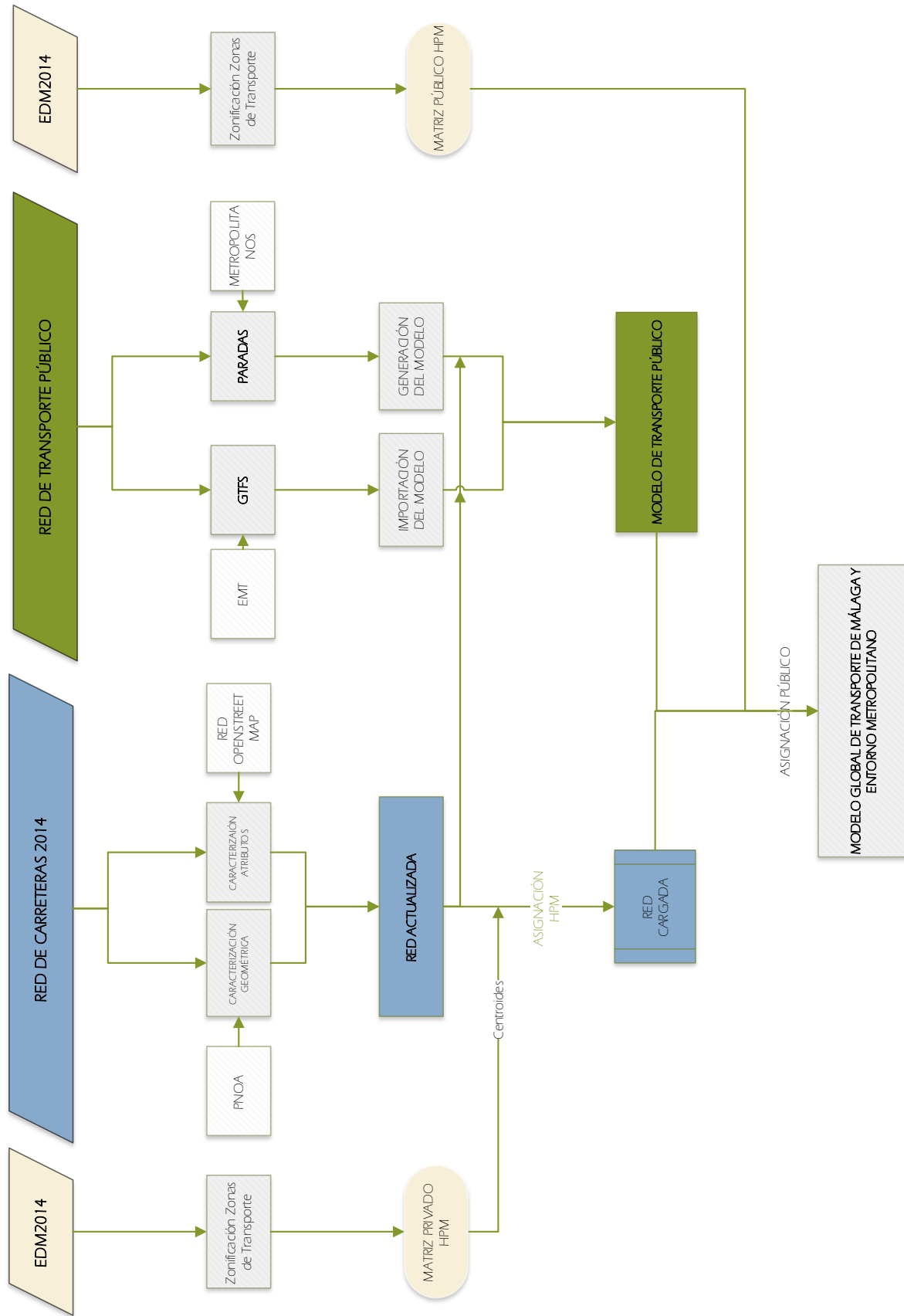
- La estructura de las líneas es radial. Todas las líneas, a excepción de la proyectada semicircular, parten del centro y se distribuyen a las zonas periféricas.
- La Estación Perchel ejerce de intercambiador intermodal en superficie, ya que se encuentra junto a la Estación de Málaga-María Zambrano y la Estación de Autobuses Metropolitanos. En ese punto confluyen las Líneas 1 y 2 del Metro, la Estación de Ferrocarriles, con acceso al servicio de Cercanías Málaga, a las líneas de largo recorrido, incluyendo AVE, y las líneas de autobuses metropolitanos y provinciales.
- La mayoría de las estaciones poseen un vestíbulo intermedio.
- El ramal técnico, que comunica la red con las cocheras, se ubica en la zona de Los Asperones, al final de la Línea 1.
- Todo el trayecto subterráneo se realiza bajo las calles, evitando el paso por debajo de edificios.



Ilustración 1-9. Esquema de la red de metro de Málaga.
 Fuente: Consorcio de Transportes metropolitanos de Andalucía

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Aunque el objetivo principal de este trabajo será el análisis de la movilidad urbana en el municipio de Málaga, se entiende que el tratamiento de los datos los procedimientos y las herramientas empleadas son igual de interesantes y han de recogerse en este texto. De esta manera, se intentará, a medida que se vayan abordando los diferentes apartados, exponer los procesos y herramientas empleadas para el desarrollo del análisis.



3 EL MODELO DE RED PRIVADO

Esto es una cita al principio de un capítulo.

- El autor de la cita -

En este apartado se presentan los procedimientos que se han llevado a cabo para la generación de un modelo de red, base para la posterior asignación. Este modelo parte de los datos facilitados por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.

3.1 Red de partida

Para generar un modelo de red de esta envergadura, es de gran ayuda partir de alguna de las redes disponibles, para posteriormente ajustarla a las necesidades reales y el nivel de detalle necesario. Las administraciones públicas, como el CNIG, facilitan esta información en formato vectorial y es posible su descarga a través de su web de descargas [3]. Otros organismos, como OpenStreetMap, también disponen de datos descargables que, como veremos, tienen características interesantes para la generación del modelo.

No obstante, antes de comenzar a trabajar con cualquiera de estos datos, ha de analizarse y considerarse los siguientes aspectos:

- El nivel de detalle del modelo que se pretenda generar.
- La conectividad de los arcos que forman la red.

A la hora de trabajar con redes, es imprescindible que el detalle de la red se ajuste al nivel de detalle que se quiera alcanzar. En análisis macroscópicos, el nivel de detalle de la red ha de llegar a representar carreteras principales y vías urbanas principales, ya que las vías urbanas residenciales, zonas peatonales o de baja intensidad de circulación no reflejarán la realidad del modelo mientras que incrementarán inexorablemente el peso de los archivos y con ello los tiempos de procesamiento.

Los diferentes softwares y programas de generación de redes generan diferentes estructuras de datos a la hora de definir una red, este hecho hace que, en el momento de importar redes entre los diferentes softwares de trabajo, puedan producirse incompatibilidades debido a la diferente estructura de los archivos que la forman. Un problema frecuente en estas situaciones es la conectividad de los arcos, en el momento de la importación, la estructura de los archivos cambia, y con ello pueden producirse errores de conectividad.

Durante el Desarrollo de este estudio, si propuso generar la red de transporte importando la red descargada de la plataforma de descargas de OpenStreetMap, una red muy detallada que contiene desde las autopistas y autopistas hasta las calles residenciales, incluyendo, entre otros, senderos peatonales o vías de servicio.

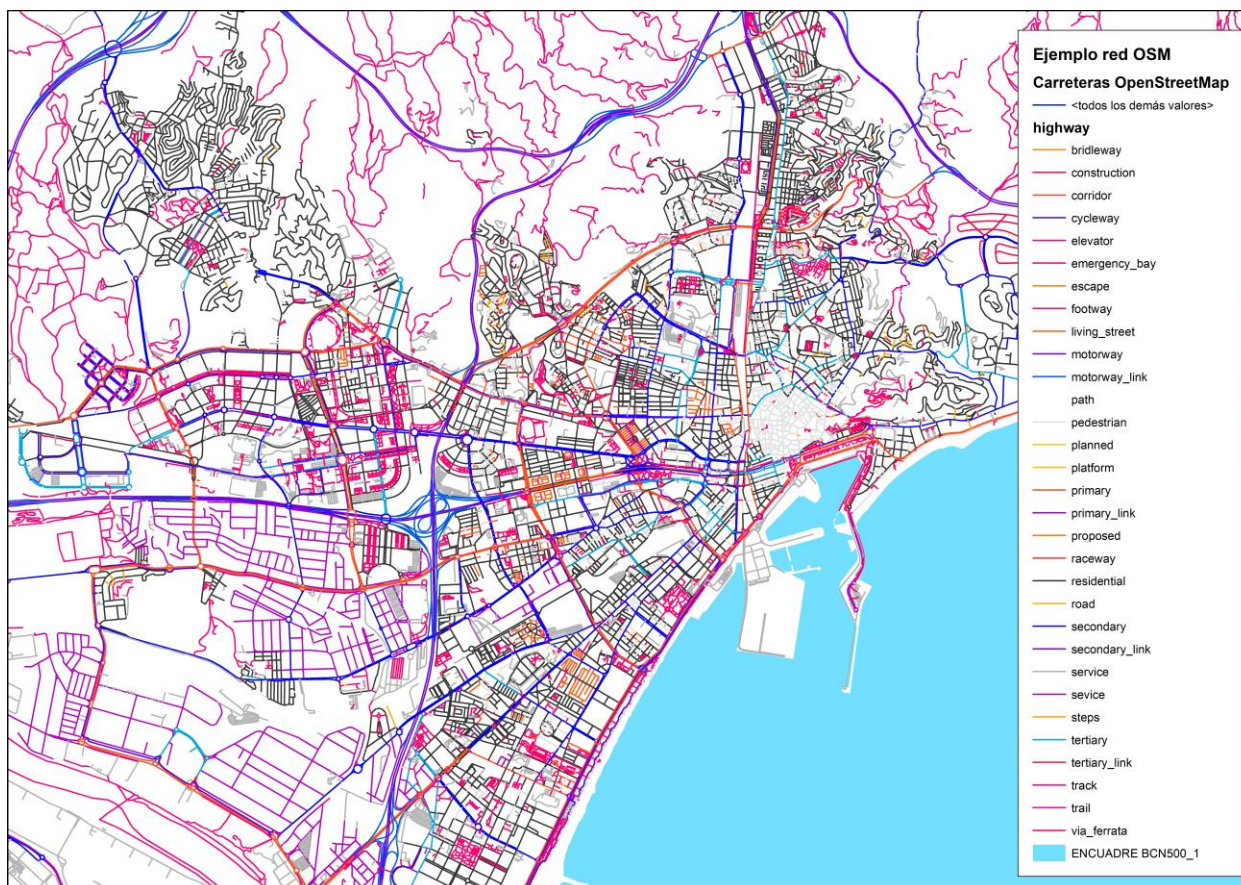


Ilustración 3-1 Red importada de Fichero de carreteras de OpenStreetMap
Fuente: *Elaboración propia (ArcMap).*

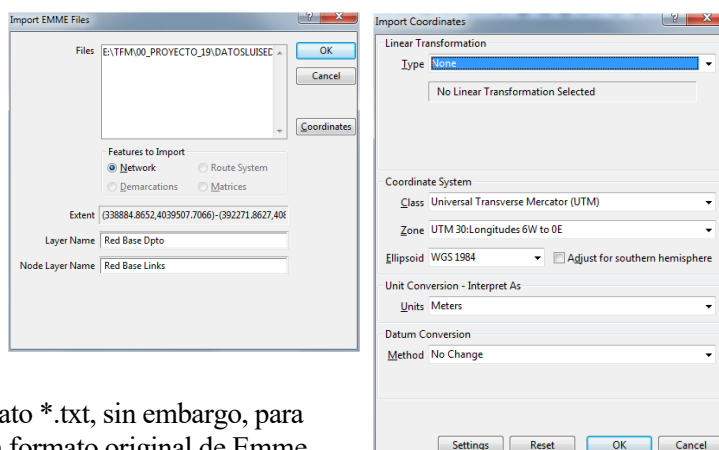
Sin embargo, los problemas de conectividad que resultan al importar esta capa a un fichero propio de Transcad hacen inviable utilizarla como red de carreteras del modelo.

Si bien, esta capa será de utilidad para definir ciertas características de la red que se pretende generar, y que se explicará más adelante en el apartado 3.4.1 Importar datos de otras capas a la red.

3.1.1 Importar fichero red desde archivo EMME

Transcad permite importar redes desde otros formatos, como por ejemplo redes en formato Emme. Esto se realiza de la siguiente manera:

File>Import Planning Data>Emme Files...



Los archivos de red suelen guardarse en formato *.txt, sin embargo, para importar un archivo Emme, éste debe estar en formato original de Emme.

Otro aspecto fundamental para la correcta importación es la definición del sistema de coordenadas [Coordinates](#) propio de los archivos a importar, para conocer la proyección que utilizan, habrá que analizar los datos de los archivos. En España, como norma general se utilizan coordenadas proyectadas UTM WGS1984.

3.2 Actualización geométrica

La correcta georreferenciación de un modelo de red tiene ciertas ventajas frente a una que no lo esté, por ejemplo, la longitud de los arcos de una red con un mayor detalle geométrico será más precisa, de modo que los tiempos de circulación se ajustarán más a la realidad. Además, facilitará en gran medida diferentes geoprosesamientos como la generación del modelo de transporte público, la ubicación de paradas y marquesinas o la determinación de vía de un solo sentido, ya que, mediante procesos como asignación de atributos, podremos establecer relaciones entre capas de fuentes distintas.

Para el desarrollo de este trabajo se ha realizado la correcta georreferenciación de los arcos de la red de partida, (facilitada por el Departamento de Ciencia de los materiales y del Transporte de la Escuela de Ingenieros de Sevilla) a partir de orto-fotografías del Centro Nacional de Información Geográfica [1]. Además, Transcad dispone de una herramienta para visualizar mapas de plataformas de terceros como Google Maps o OpenStreetMap:

Map>Imagery>OpenStreetMap

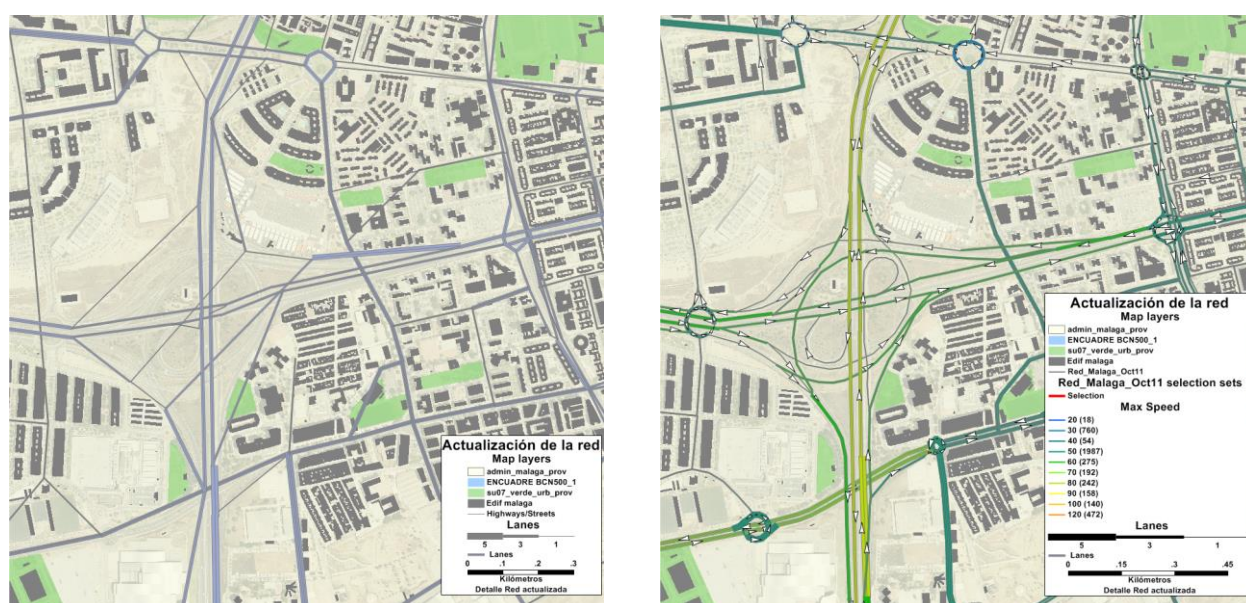


Ilustración 3-2 Detalle de Actualización geométrica de la red de partida (MA-20 con A-357)
Fuente: *Elaboración propia (Transcad).*

En las imágenes superiores se han representado la red de partida (imagen izquierda) junto con la red actualizada (imagen derecha).

Para su actualización, se han tenido en cuenta una serie de condiciones que determinan el nivel de detalle del viario que forma la red.

- Cualquier arco de la red tendrá la geometría real del viario que represente (excepto arcos de centroides) y, por tanto, tendrá la longitud y tiempos de recorrido correctos.
- Todas las carreteras, autovías y autopistas, así como las arterias principales de la ciudad tendrán un arco para cada sentido de la circulación, además, se caracterizarán todas las conexiones y accesos de las mismas.
- Las glorietas, y glorietas a distinto nivel, en arterias principales de vías urbanas, se representarán acorde a la realidad de la intersección que representen.
- Las carreteras y vías urbanas o residenciales de menor orden no estarán incluidas en el modelo, excepto aquellas por las que circulen rutas del transporte urbano.

Un ejemplo que representa todas estas condiciones se da en la glorieta a distinto nivel de la Plaza Manuel Azaña, en la confluencia de la Av. De Blas Infante con Av. De Andalucía

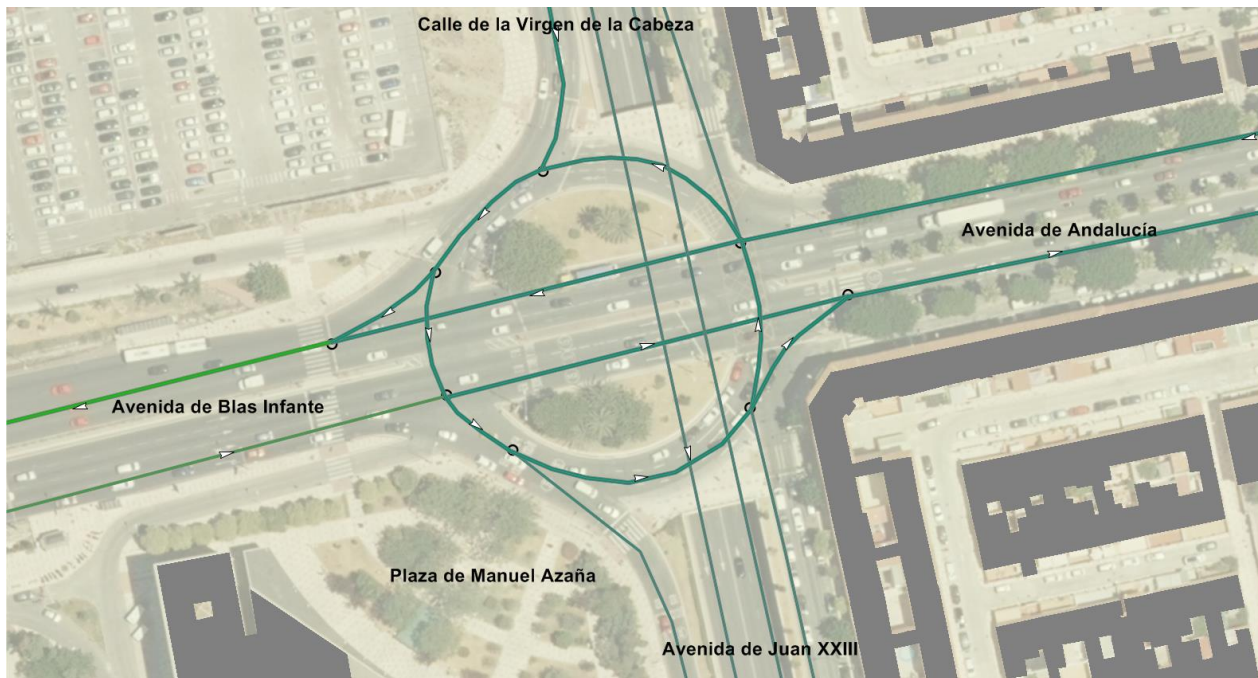


Ilustración 3-3 Ejemplo nivel de detalle geométrico de la red (Plaza Manuel Azaña)
 Fuente: *Elaboración propia (Transcad)*

Aumentar el nivel de detalle en este tipo de intersecciones mejora sustancialmente la veracidad de los datos obtenidos de las asignaciones. Por ejemplo, para realizar una incorporación Virgen de las Nieves desde Blas Infante, los vehículos asignados deberán realizar el giro indirecto por plaza Manuel Azaña, tal y como sucede en la realidad.

3.3 Las Zonas de Transporte: Centroides y conectores

El ámbito de estudio, que corresponde a la ciudad de Málaga y corona metropolitana se divide en 178 zonas de Transporte.

La metodología para cualquier estudio de las demandas de movilidad consiste, inicialmente, en construir la zonificación de áreas relativamente homogéneas llamadas, Zonas de Análisis de Transporte-ZATs

La zonificación en la que se basa este estudio corresponde a la existente para el estudio de movilidad de Málaga (EDM 2014). La ciudad se divide en: el municipio de Málaga, con 128 zonas y 50 zonas correspondientes al resto de municipios de la corona metropolitana.

Cada viaje registrado en la EDM 2014 se clasifica atendiendo al modo de Transporte, la hora del viaje, y las zonas Origen - Destino. El número total de viajes observados entre cada pareja Orígenes-Destino se recopila en formato matricial, la matriz T_{ij} .

Cada origen y destino está asociado a una Zona de Análisis del Transporte (N). El número estas divisiones o ZATs del área de estudio es 178, esto implica que la matriz general de viajes será de dimensiones $N \times N$.

Cada zona tendrá un centroide, es decir un punto en el centro desde donde partirán todos los viajes generados de esa zona y el cual será destino de todos los viajes atraídos por la zona.

Entonces, cuanto más detallada sea la subdivisión del territorio en zonas de Transporte más exacta será luego la macro simulación del tráfico y más realistas los tiempos de viajes resultantes de ella.

Este hecho se debe a que el viaje puede haberse iniciado en cualquier parte de la zona a la que corresponda, no

necesariamente coincidiendo con el centroide.

Como los viajes se realizan con origen y destino en los centroides, estos deben estar necesariamente conectados con la red de nuestro modelo. Esta función se realiza mediante la generación de unos arcos llamados conectores. Estos arcos no representan una determinada carretera, si no la agrupación de todas aquellas que llegan a salen del centroide del ZAT.

Por lo descrito anteriormente, hay que tener en cuenta que los datos de flujos y tiempos que nos devuelve la macro simulación difieren de la situación real en las zonas más próximas a los conectores y son más veraces en las zonas más alejadas.

Las condiciones fundamentales para la creación de las ZATs son:

- Compatibilidad de los distritos censales: Todo ZAT corresponde a una agregación de distritos censales, sin que ninguno de estos se encuentre asociado a más de una zonificación.
- Compatibilidad del parcelario urbanístico del municipio.
- Compatibilidad con el viario urbano del modelo.

Puede verse estructura de estas zonas de transporte en el plano 3 anexo a este documento.

3.3.2 Introducir y conectar los Centroides a la red

En este tipo de modelos, la generación y atracción de cada uno de las ZT se realiza a través sus Centroides, de manera que todos los viajes tendrán como origen y destino estos nodos ‘centroides’.

Transcad dispone de un módulo que genera automáticamente los Centroides de cada uno de las ZT y une dichos nodos a la red mediante unos arcos denominados conectores, para ello, se deberá introducir previamente la el archivo geográfico que determina la zonificación del ámbito de estudio.

Tools > Map Editing > Connect...

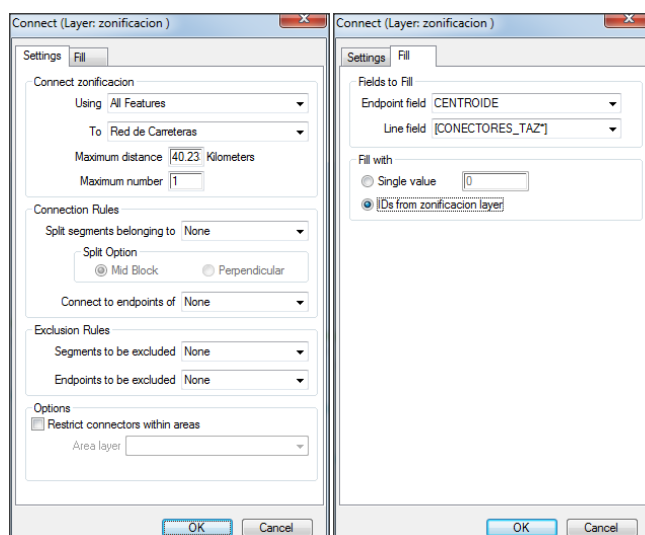


Ilustración 3-4 Cuadro de diálogo, Creación de conectores.

Fuente: Cuadro de dialogo (Transcad)

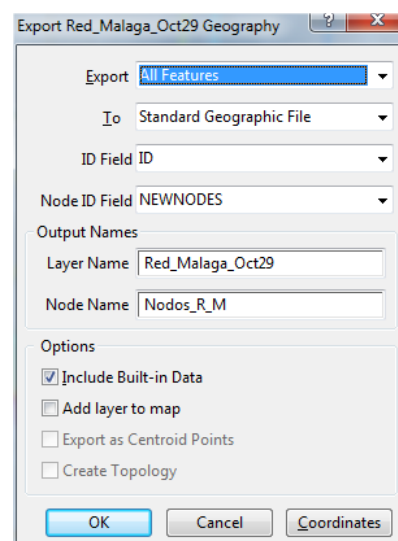
Especialmente importante es generar, en la tabla de atributos de los nodos de la red, un nuevo campo al que, en el momento de realizar la conexión, se le asigne el identificador de la zona de transporte correspondiente y sea posible, posteriormente, acutizar el campo ID de los nodos ‘centroides’ de la red.

3.4 Actualización de los metadatos

3.4.3 Actualización de los IDs de los centroides

La asignación de la matriz de viajes toma como referencia el identificador único de cada zona de transporte, por tanto, el ID de los nodos ‘centroides’ de la red debe ser el mismo que los de la matriz que se asigne; A la hora de conectar las zonas de transporte con la red generada, el identificador de los nuevos nodos ‘centroides’ serán números consecutivos y comenzarán por el número superior al más alto de los que ya formaban la red, de aquí la importancia de incluir un [nuevo campo] con los IDs de cada una de las zonas de transporte, de modo que sea posible reescribir el ID de los centroides, haciendo que coincida con su zona de transporte. Para ello bastará con exportar la red imponiendo en la exportación que los nuevos IDs sean los definidos en el [nuevo campo].

File > Export > Geographic file...



3.4.1 Importar datos de otras capas a la red

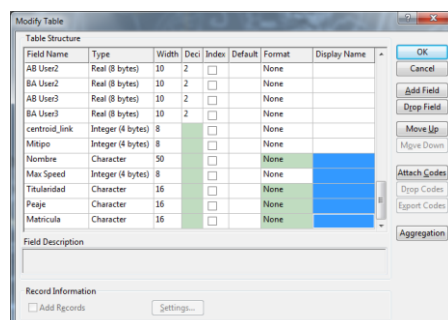
El déficit de información de la red de carreteras con la que se trabaja puede ser resuelto mediante la importación de metadatos de otras capas. Estos son atributos como la velocidad máxima, el tipo de calzada, el número de carriles, el nombre de la vía o la titularidad, entre otros. Para ello, se cuenta con la red viaria previamente importada de OpenStreetMap, de la que se puede extraer la siguiente información de la red:

Tipo de vía	Líneas	Destino
Velocidad máxima	Peaje	Puente
Nombre	Túnel	Longitud
Dirección Única	Jerarquía	Peso máximo
Referencia	Matrícula	Inclinación
Tipo de pavimento	Titularidad	Estado

Especialmente interesante son atributos como el nombre de la vía, el tipo de vía, la velocidad máxima o la matrícula, que permitirán caracterizar y generar un modelo de red lo más veraz posible.

Este proceso requiere incluir, en el workspace de Transcad, la red de carreteras de la que se quiera obtener la información y posteriormente generar nuevos campos en la tabla de atributos que los campos que quieran actualizarse:

Dataview > Table > Modify



Una vez definidos los campos en la tabla de atributos de la red, se pueden definir cada atributo mediante los

atributos de la capa donante. Para ello, sobre el campo a rellenar, se usará la opción

Fill>tag.

Donde se definirá la capa donante y el atributo donado.

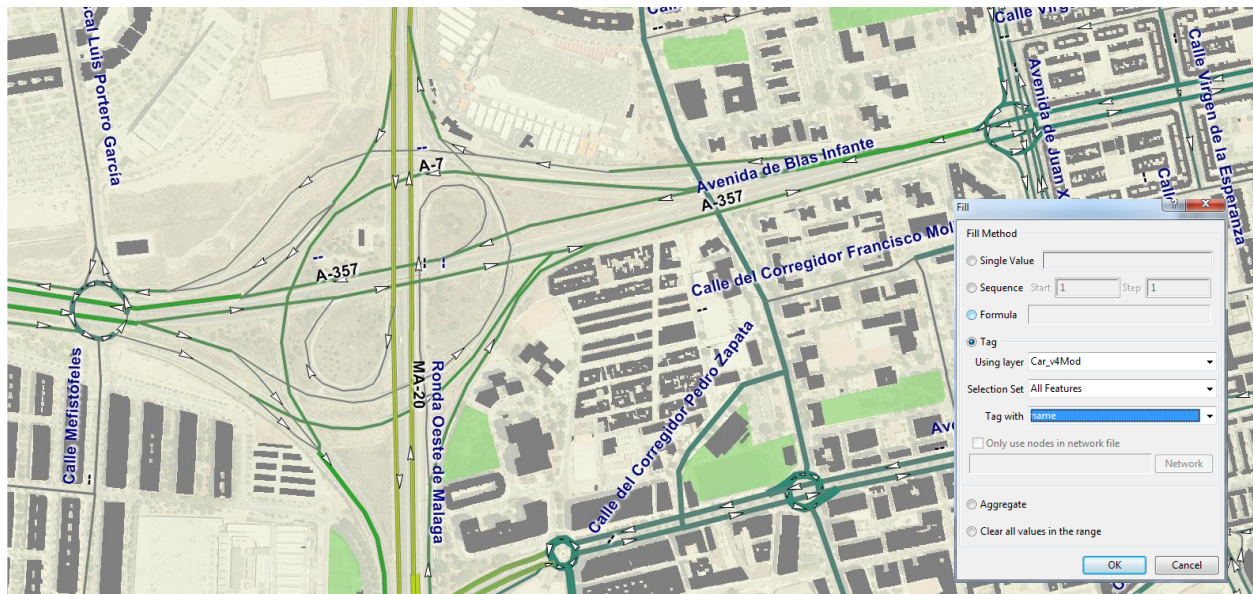


Ilustración 3-5. Proceso de donación de atributos entre diferentes capas

Fuente: *Elaboración propia (Transcad)*

Regularización semafórica

Para el cálculo de la capacidad de las vías urbanas, es necesario conocer el ciclo semafórico de las intersecciones. Este ciclo se introduce en el programa a través del factor de regulación, definiendo un nuevo campo para los arcos de la red [*regularización*].

Para la definición de la regularización de las vías urbanas se cuenta con la ubicación de las intersecciones semafóricas, que pueden descargarse del catálogo de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga [2]. La correcta caracterización de la capacidad de las vías urbanas requiere del conocimiento de las fases semafóricas de cada una de las intersecciones reguladas, sin embargo, estos datos no son públicos y, por tanto, se ha definido, de forma genérica un ciclo semafórico común.

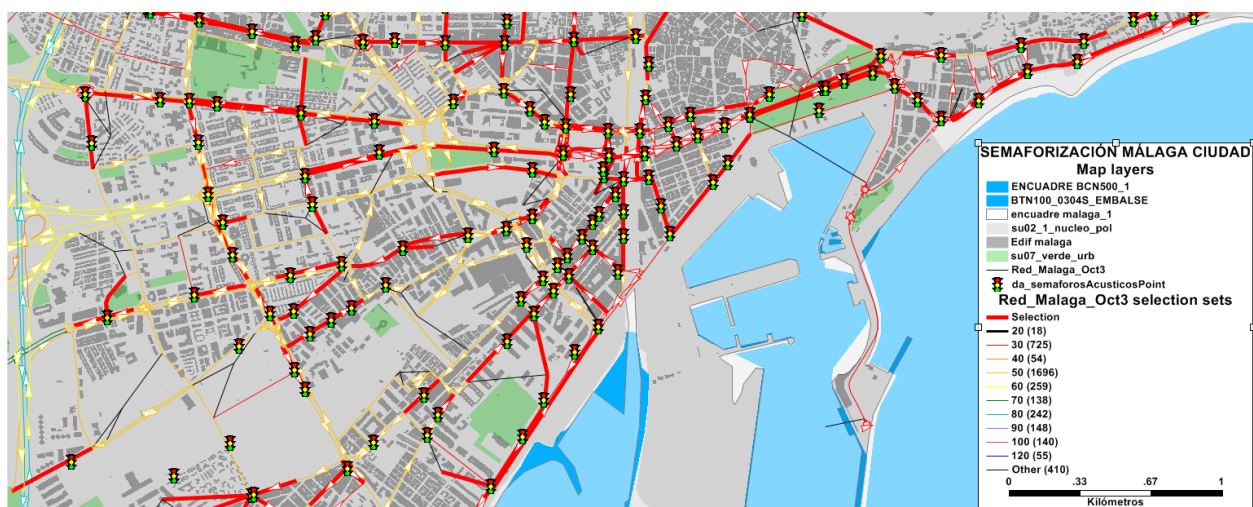


Ilustración 3-6. Detalle de la regularización semafórica de la red (Localización de los semáforos)

Fuente: *Elaboración propia (Transcad)*

- Fase verde/fase ciclo de arterias principales de vías urbanas: 0,7
- Fase verde/fase ciclo de vías urbanas y residenciales: 0,3

Una vez definidos todos los atributos de la red, es posible generar mapas temáticos a fin de visualizar la correcta caracterización de la red:

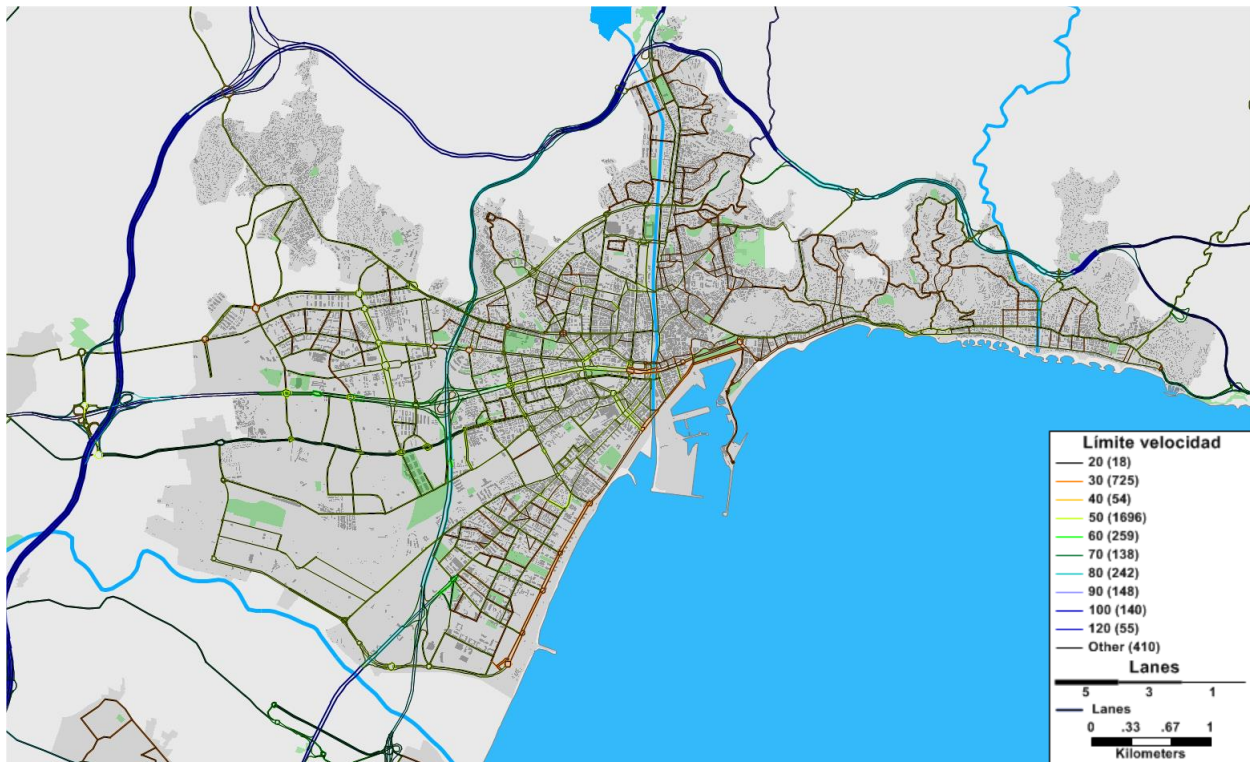


Ilustración 3-7. Detalle de la caracterización de los atributos de la red (Velocidad máxima y carriles)
 Fuente: *Elaboración propia (Transcad)*

3.5 Asignación del transporte privado

3.5.1 Función de Demora

La asignación de tráfico requiere la definición de una función que relaciona el flujo o volumen de tráfico por cada arco y la demora del mismo.

En este caso, la función BPR o Bureau of Public Roads es una de las más utilizadas y por tanto es la que se utilizará en el entorno de Transcad.

La BPR se define como:

$$T_i = t_0 \left[1 + \alpha_i \times \left(\frac{V_i}{C_i} \right)^\beta \right]$$

Donde:

- ‘ T_i ’ El tiempo de viaje sobre el arco ‘ i ’.
- ‘ T_0 ’ El tiempo de viaje sobre el arco ‘ i ’ en flujo libre.
- ‘ α ’ Es un coeficiente de calibración.

' β '	Es un coeficiente de calibración.
' V_i '	Es el flujo en el arco ' i '.
' C_i '	Es la Capacidad del arco ' i '.

La BPR describe los tiempos de viaje de cada arco en función del ratio Volumen/Capacidad.

Históricamente, los valores ' α ' y ' β ' se han tomado como 0.15 y 4 respectivamente. Sin embargo, es posible utilizar valores diferentes a los mencionados siempre y cuando estos valores mejoren el modelo.

Los valores ' α ' y ' β ' son coeficientes que determinan las características del tráfico de cada arco, es decir, definen, por ejemplo, el efecto de las intersecciones o de las irregularidades de la vía.

El modelo generado inicialmente mostraba una jerarquización de las vías, otorgando a cada tipo unos valores determinados de ' α ' y ' β '. Estos valores fueron tomados mediante estudio real sobre una red, por tanto, en el modelo usado para este análisis se tomarán dichos valores, ya que generarán un modelo más realista de la situación.

Para comprender mejor como afectan los valores ' α ' y ' β ' en la evolución del tráfico sobre las vías de circulación se generarán a continuación unos diagramas que relacionan el coeficiente Volumen de tráfico /Capacidad de la vía frente a Tiempo/Tiempo básico

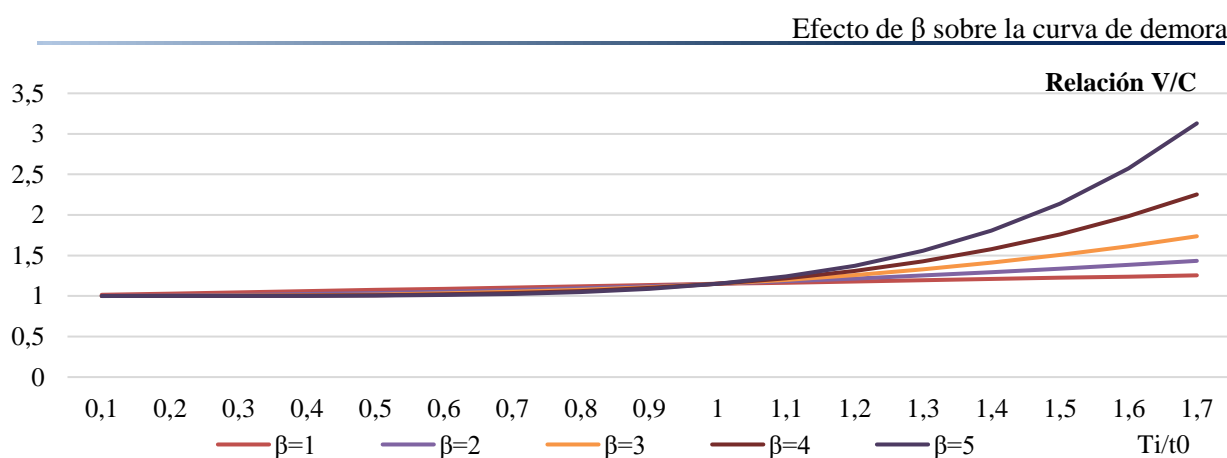
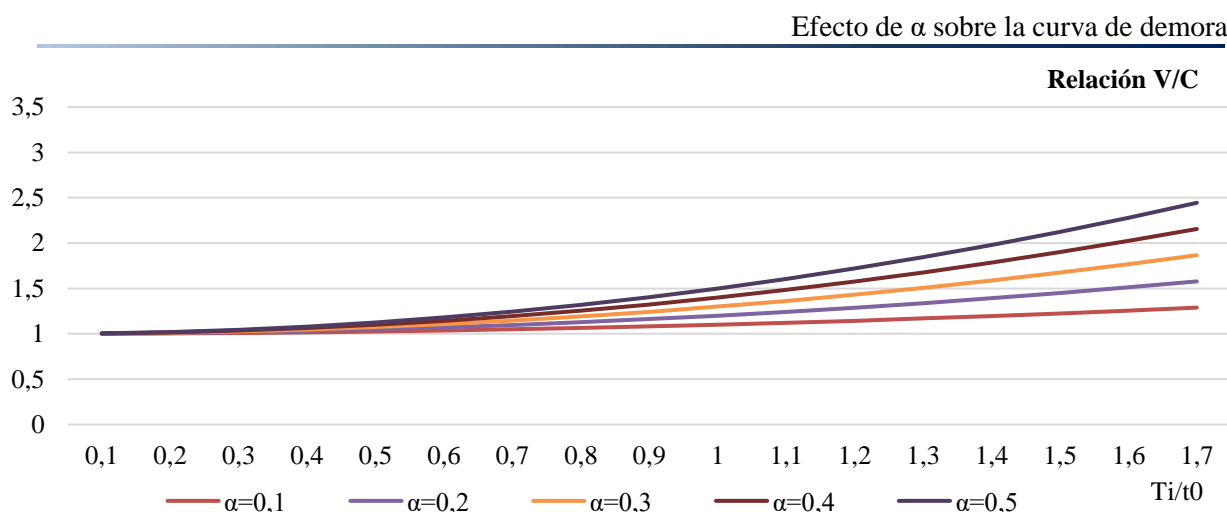


Ilustración 3-8 Efecto de los coeficientes α y β sobre la curva de demora
Fuente: Elaboración propia

3.5.2 El método de asignación del tráfico (User Equilibrium)

Los modelos de asignación se usan para estimar el flujo de tráfico en una red de Transporte. Estos modelos toman como datos de entrada la matriz de flujo que indica en cada posición el volumen de tráfico entre los pares origen destino (O-D). También es necesario como dato de entrada tener la topología de la red, así como definir las características de cada uno de los arcos que forman la red.

Estas asignaciones de tráfico son la herramienta fundamental necesaria para predecir, por ejemplo, los flujos de tráfico asociados a futuros escenarios o cómo se vería afectado el tráfico por cambios puntuales o permanentes de la red o en el volumen de usuarios.

Existe una gran variedad de modelos para resolver el problema de asignación de tráfico entre los que destacan los basados en el equilibrio del usuario y los basados en el equilibrio estocástico del usuario, que difiere del anterior en la manera en que los viajeros perciben la red; es decir, en estos últimos se considera que los usuarios no tienen una perfecta información de los atributos de la red y por tanto perciben los costes de viaje de manera diferente. Existen también modelos de asignación de No-equilibrio, como el método de Todo-o-Nada, en este método todo el flujo de tráfico entre un par O-D es asignado a la ruta mínima que conecta origen y destino. Este modelo es poco realista ya que solo se asigna flujo a una única ruta entre cada par O-D, incluso existiendo otras rutas de igual o parecido coste; en este caso la asignación no tiene en cuenta los efectos de la congestión sobre los tiempos de viaje.

La asignación de tráfico en estado de congestión mediante el equilibrio del usuario, utilizado en este estudio, ha de satisfacer el **primer principio de Wardrop** o **equilibrio del usuario**.

El primer principio de Wardrop, dice: *"Los tiempos de viaje en todas las rutas usadas es igual (entre ellas), y menor al tiempo que experimentaría cualquier vehículo que decidiera cambiar a otra ruta"* En este caso, cada usuario, actuando de forma NO-cooperativa, es decir de forma egoísta, busca minimizar sus propios costos de Transporte. Los flujos de tráfico que satisfacen este principio de equilibrio se definen como tipo de "equilibrio" del usuario (UE), ya que cada usuario elige el camino que prevé ventajoso. En resumen, este equilibrio se alcanza cuando ningún usuario puede bajar más su tiempo de viaje (costo de Transporte) por medio de una acción unilateral.

Para alcanzar la solución de equilibrio, en donde los usuarios no mejoran sus tiempos de viaje cambiando de ruta, es necesario realizar un proceso iterativo. En cada iteración, TransCAD calcula los flujos en cada arco de la red, incorporando los efectos de la congestión sobre la capacidad y los tiempos de viaje llegando finalmente, tras este proceso iterativo, a una solución de equilibrio entre tiempos y flujos.

La formulación del proceso iterativo se basa en el **Algoritmo de Frank-Wolfe (FW)** que a continuación se describe brevemente. Se considera únicamente el caso de asignación simétrica, con el coste de un arco C_a a dependiente exclusivamente del flujo de dicho arco V_a , $C_a = C_a(V_a)$. Como el proceso será iterativo, en una iteración i se tendrá un vector de flujos en los arcos V^i .

3.5.2.1 El Algoritmo de Frank Wolfe

1. Seleccionar un conjunto inicial idóneo de costes de arco, en este caso tiempos de viaje $C_a(0)$ a flujo libre. Al inicio del proceso se hacen todos los flujos $V_a^0=0$; también $n=0$.
2. Construir el conjunto de rutas de mínimo costo con los costes de que se dispone; hacer $n=n+1$
3. Cargar toda la matriz T sobre las rutas con el método de todo o nada; de este modo se consigue un conjunto de flujos auxiliares F_a
4. Calcular los flujos correspondientes, eligiendo θ de modo tal que el valor de la función objetivo Z sea mínima.

$$V_a^n = (1 - \theta)V_a^{n-1} + \theta F_a$$

$$Z[T_{ijr}] = \sum_a \int_0^{V_a} C_a(u) dv = \pi r^2$$

5. Calcular un nuevo conjunto de costes de arco en base a los flujos V_a^n ; Si los flujos (o los costes de arco) no se han modificado significativamente en dos iteraciones consecutivas, se ha llegado a la solución esperada; en otro caso se vuelve al paso 2.

3.5.3 Caracterización de la red

Los campos fundamentales en el proceso de asignación que definirán la red son:

- **Capacidad:** La capacidad de un punto o tramo uniforme de vía se define como el máximo número de vehículos que pueden circular, en condiciones normales. Es la máxima intensidad que puede albergar una vía sin colapsarse. La capacidad depende de las propias características de la vía (geometría, número de carriles y estado del pavimento) y de la composición del tráfico. También han de tenerse en cuenta factores como las regulaciones (semafóricas, cruces peatonales) limitaciones de velocidad y prohibiciones de adelantamiento, así como las condiciones meteorológicas y factores de uso como el estacionamiento en doble fila.
- **Coefficientes de calibración α y β :** Caracterizan el tipo de flujo de la vía y como varía este en función de la intensidad que circule en un instante determinado, son explicados más adelante en este capítulo.
- **Tiempo de recorrido del arco en flujo libre.**

Los campos de **Capacidad** y **Tiempos** se obtienen a partir de otras características de la vía.

$$\text{Capacidad} = N^{\circ} \text{ Carriles} * \text{Factor de regularización} * \text{Cap. Carril}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = \frac{\text{Longitud del arco}}{\text{Velocidad de flujo libre}}$$

Por tanto, los parámetros básicos que caracterizarán nuestra red son:

- Número de carriles.
- Capacidad por carril.
- Factor de regularización.
- Velocidad en flujo libre.
- Coeficientes de calibración α y β .

3.5.4 Resultados de la asignación

Una vez definida la matriz de viajes como la red se lleva a cabo el proceso de asignación mediante la herramienta TrasnCAD. Mediante un proceso iterativo, el programa nos devolverá una serie de resultados asociados a cada arco que compone la red. Los campos que TrasnCAD aporta en formato tabla son:

- **Flujo (AB_Flow , BA_Flow):** representa el número de vehículos que circulan por un arco en un intervalo de tiempo, en nuestro caso la hora punta de mañana, en sentido AB y BA (A y B son los nodos extremos del arco ordenados en el sentido topológico, es decir, A fue el primer nodo en ser dibujado para generar el arco, y B el último).
- **Tiempo (AB_Time , BA_Time):** Tiempo de viaje calculado en cada arco de la red en el momento de asignación.
- **Ratio volumen/capacidad (AB_VOC , BA_VOC):** es el cociente entre el volumen de vehículos que circula por el arco por unidad de tiempo (1 hora) y la capacidad teórica de ese arco. Este coeficiente da una idea del nivel de servicio de la vía.
- **Velocidad (AB_Speed , BA_Speed):** Es la velocidad de circulación en cada arco determinada en la última iteración de la asignación. Se calcula como: $\text{Length} * 60 / [AB/BA_Time]$.

- **Distancia entre vehículos (AB_VMT , BA_VMT):** Separación entre los vehículos que cruzan un arco. Este dato también guarda cierta relación con el nivel de servicio de la vía en estas condiciones de asignación.

Resultados globales de la asignación:

- **Tiempo total de circulación ($Total\ VHT$):** Muestra la suma total horarias de todos los viajes asignados. Este valor puede ser comparado entre distintos escenarios de asignación y determinar cuál produce mejores resultados en cuanto a costes totales.
- **Número total de kilómetros de rutas ($Total\ VKmT$):** Sumatorio de todas las rutas asignadas

La siguiente tabla muestra el resumen de la asignación mediante el método de Equilibrio del Usuario (User Equilibrium BFW):

INPUT FILES	
Network	C:\Users\javi\Desktop\MODELO19_MALAGA\0_Red\0_Red_19\Red_Malaga_Oct29\Red29PRIVADO.net
Preprocessed penalties	False
Demand Table	C:\Users\javi\Desktop\MODELO19_MALAGA\Transporte\FICHEROS RED- MATRICES- VOLUMENES\Matrices\Matricestranscad\matrizf4_id1.mtx
Cost Delay Function	bpr.vdf
OUTPUT FILES	
Flow Table	C:\Users\javi\Desktop\MODELO19_MALAGA\ASIGNACIONES\PRIVADO\ASN 29 OCT\LinkFlows.bin
LINK FIELDS	
Time	Time
Capacity	Capacity
Alpha	None
Beta	None
Preload	None
OD DEMAND	
OD Pairs	28730
Non zero OD Pairs	2209
Assigned Demand	70180.43
Intranodal Demand	0.00
PARAMETERS	
Assignment Method	N Conjugate UE (2 vectors)
Max Assignment Iterations	500
Convergence Criteria	0.0001
Threads used	4
Running Results	
Relative Gap	9.99041076e-05
RMSE	1.39684612
% RMSE	0.477819783
Max Flow Change	14.4488572
Assignment Iterations	57
Equilibrium reached	Yes
Total VHT	9200.81
Total VKmT	644259.30
Total Running Time 00:00:06.317.	

Tabla 3-1. Reporte de la asignación
 Fuente: Report Transcad.

La primera parte del sumario de la asignación muestra los directorios de los archivos de entrada y salida, así como los campos de nuestra red que ha utilizado para asignar.

Es en la segunda parte del sumario donde podemos encontrar lecturas importantes:

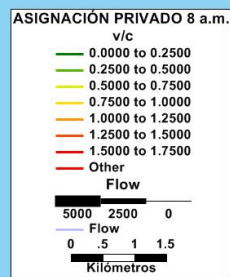
OD Demand: Aporta datos referentes a la matriz O-D, entre ellos está el parámetro *Demand*, que muestra el total de viajes de nuestra asignación.

VIAJES TOTALES ASIGNADOS = 70.118 Vehículos

Parameters: Aquí se define el Método de Asignación utilizado, así como el número máximo de iteraciones que el programa ejecutará para intentar alcanzar el equilibrio y el criterio de convergencia para alcanzarlo.

RunningResults: Muestran los datos relativos al resultado de asignación. El “*Relative Gap*” es la diferencia relativa de los costes totales (Tiempos) resultantes en todas las rutas usadas en la última iteración y el coste total si todos los viajes se realizaran por las rutas de coste mínimo de dicha iteración. Si en algún momento del proceso iterativo esta diferencia es menor que el criterio de convergencia y, aunque no se haya llegado al límite máximo de iteraciones, el algoritmo considerará que se ha alcanzado el equilibrio definido por el usuario y finaliza su ejecución.

A continuación, se muestra un mapa temático de flujos totales (ambos sentidos) por vía, en el periodo de hora punta de mañana. El mapa muestra el volumen total de tráfico y la relación Volumen capacidad en cada arco. Este coeficiente guarda relación directa con el nivel de servicio de la vía en la hora punta analizada. Este modelo puede verse con mayor detalle en el **plano 5 Asignación de red Nconjugate UE**, anexo de este documento.



Fuente: Elaboración Propia (Transcad)



Ilustración 3-10. Localización de los distintos dispositivos de información del tráfico de la DGT.
Fuente: Dirección General de Tráfico.

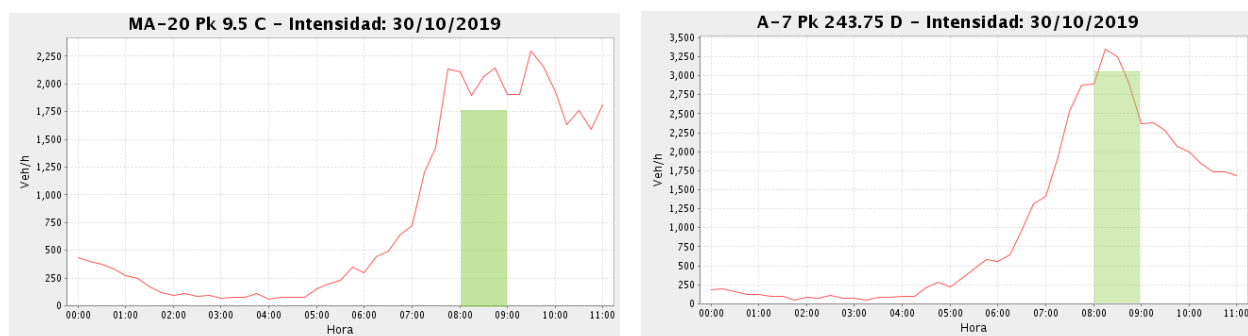


Ilustración 3-11. Histograma de intensidad de la circulación en la MA-20 y A-7. 08:00 am.
Fuente: Dirección General de Tráfico.

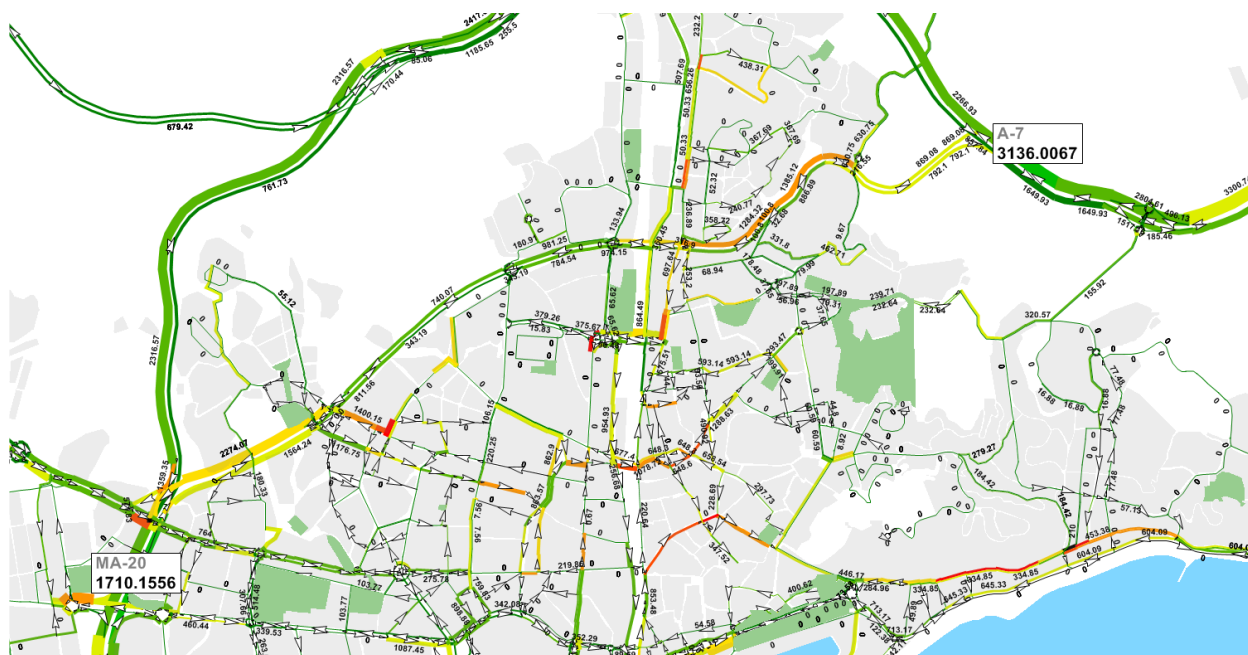
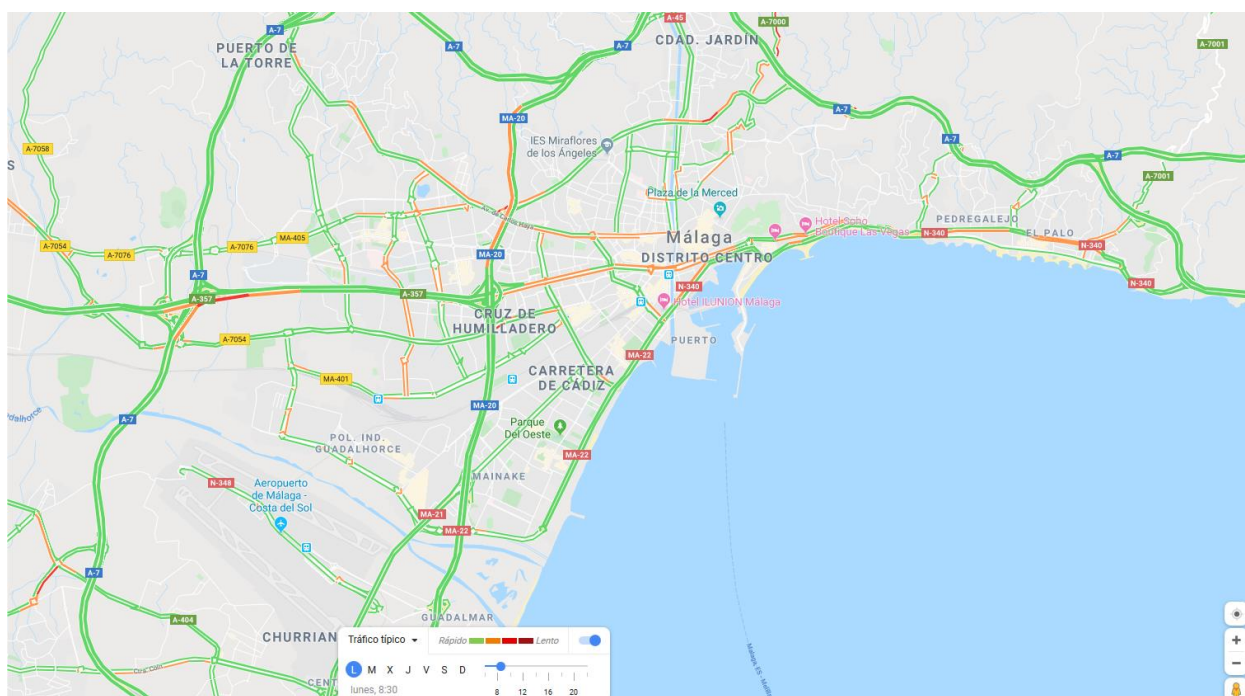
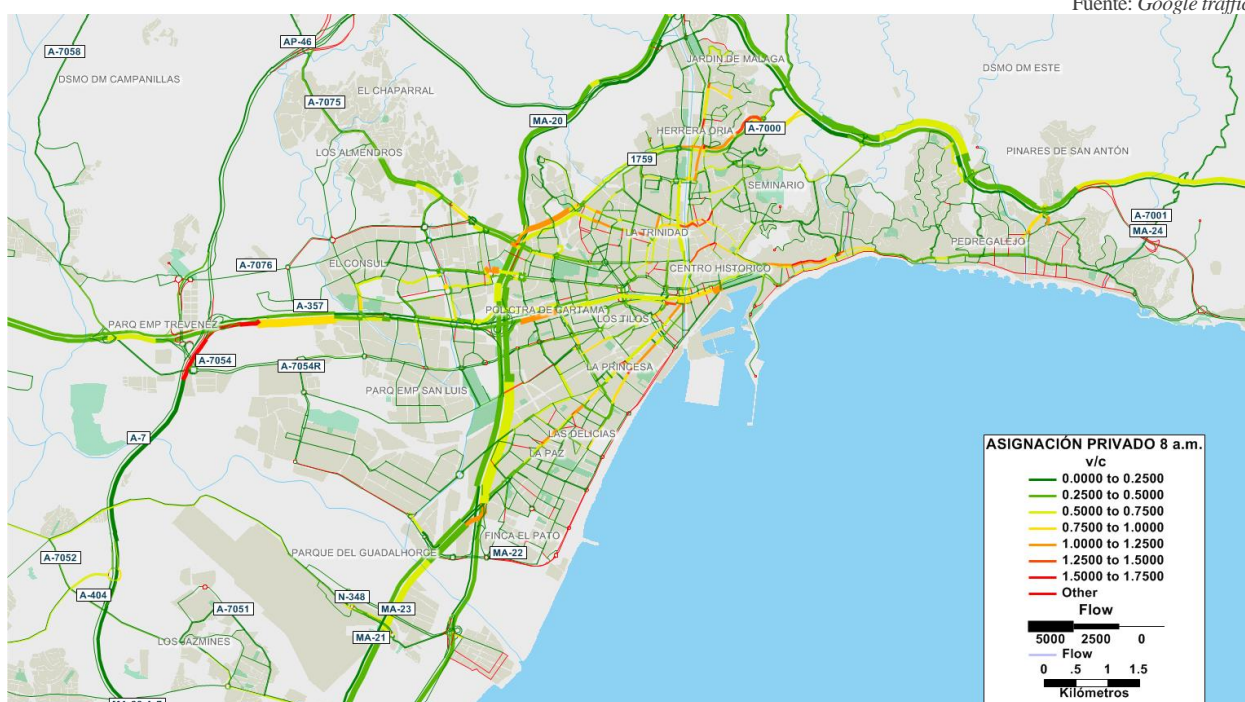


Ilustración 3-12 Intensidad de la circulación en la Asignación de transporte privado. 08:00 am.
Fuente: Elaboración propia (Transcad).

Otra herramienta muy útil en este tipo de procedimientos es la conocida aplicación Google Maps, cuenta con una extensión de tráfico que representa, mediante la velocidad de circulación, la congestión de la red en franjas horarias establecidas por el usuario. De forma visual, puede compararse los resultados obtenidos del modelo con el representado por Google, y puede apreciarse la similitud entre ambos.



Fuente: *Google traffic*.



Fuente: Elaboración propia.

4 EL MODELO DE TRANSPORTE PÚBLICO

Este capítulo tiene como objetivo principal la descripción de los procesos llevados a cabo para el desarrollo del modelo de transporte público mediante Transcad. Consta de un primer bloque en el que se define y analiza la información de partida del sistema de transporte público, utilizados posteriormente para la generación del modelo.

La estructura de datos que conforman la red de Transporte Público, atendiendo al modelo de datos específico del software Transcad, está formada por una red de carreteras o viario base, que coincide con la red de carreteras utilizada como oferta del Transporte privado, cuya generación se ha ido desarrollando hasta el momento. Sobre esta red discurrirán las líneas de Transporte Público urbano e interurbano, a la que se le añadieron un conjunto de arcos complementarios para las líneas ferroviarias, todas ellas con sus correspondientes paradas.

El proceso de generación de la Red de Transporte Público, o "Route System" según la terminología del software Transcad, depende en gran medida de los datos de partida que se dispongan y su formato.

4.1 Datos de partida

4.1.1 Modelo GTFS de la EMT

Existen diferentes procedimientos que permiten generar un modelo de transporte público en el entorno de Transcad, la implementación manual es la forma más básica y laboriosa de enfrentarse al desarrollo del modelo, debido, principalmente, a la envergadura de un sistema de transporte como el de la ciudad de Málaga y su entorno metropolitano. Generalmente, los operadores del Transporte Público suministran información de las líneas y sus rutas en formato imagen (*.png, *.tif, *.pdf, *.jpg), de este modo no se podrán digitalizar las rutas en el entorno de TransCAD de manera masiva y consecuentemente la generación de la red será más tediosa.

Sin embargo, gracias a las nuevas herramientas de localización gps y aplicaciones de navegación, son cada vez más los operadores de transporte que optan por implementar este tipo de tecnología GTFS, poniendo a disposición del usuario herramientas de información más eficaces.

Especialmente interesante es el servicio de mapas de Google Maps, de Google, servidor de aplicaciones de mapas en la web que ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotografías por satélite del mundo e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones o imágenes a pie de calle con Google Street View, condiciones de tráfico en tiempo real (Google Traffic) y un calculador de rutas a pie, en coche, bicicleta (beta) y transporte público.

La estructura de datos que conforman la red de Transporte Público que usa Google para ofrecer a los usuarios el calculador de rutas no es desarrollado por la compañía, si no que ésta recurre los modelos facilitados por los operadores de transporte que operan en las diferentes áreas geográficas. Es decir, son las empresas de transporte las que se encargan de generar el modelo de red, que posteriormente Google implementará mediante APIs en su buscador.

Un feed GTFS se compone de una serie de archivos de texto recopilados en un archivo ZIP. Cada archivo modela un aspecto específico de la información de transporte público: paradas, rutas, viajes y otros datos relacionados con los horarios.

Una empresa de transporte puede producir un feed GTFS para compartir su información de transporte público con los programadores quienes, luego, escribirán las herramientas que consumen feeds GTFS para incorporar la

información de transporte público a sus aplicaciones para impulsar a los planificadores de viajes, los editores de horarios y los programadores, que usen la información de transporte público de alguna manera.

4.1.1.1 Estructura del modelo GTFS

Para poder importar un modelo GTFS, ya sea a softwares como Transcad o a Google Maps, Es preciso que el modelo esté formado por un determinado número de archivos (en formato *.txt y comprimidos en un mismo directorio), que definirán las rutas, las paradas o los horarios, entre otros, y, además, estos archivos han de tener una estructura concreta:

Nombre del archivo	Obligatorio	Definición	Clave	Atributos
agency.txt	Obligatorio	Define una o más empresas de transporte público que tienen servicios representados en el conjunto de datos.	agency_id	, agency_name, agency_url, agency_timezone, agency_phone, agency_lang
stops.txt	Obligatorio	Define las paradas en las que los vehículos buscan o dejan pasajeros. También define las estaciones y las entradas de las estaciones.	stop_id	level_id, stop_name, stop_lat, stop_lon, location_type, parent_station
routes.txt	Obligatorio	Define las rutas de transporte público. Una ruta es un grupo de viajes que se muestra a los pasajeros como un solo servicio.	route_id	route_short_name, route_long_name, route_desc, route_type
trips.txt	Obligatorio	Define los viajes de cada ruta. Un viaje es una secuencia de dos o más paradas que ocurren durante un período de tiempo específico.	route_id, trip_id	service_id, trip_id, trip_headsign, block_id
stop_times.txt	Obligatorio	Proporciona las horas a las que un vehículo llega a una parada específica y sale de ella en cada viaje.	trip_id	arrival_time, departure_time, stop_id, stop_sequence, pickup_type, drop_off_type
calendar.txt	Condicional	Define las fechas de un servicio cuando este está disponible para determinadas rutas. Utiliza un horario semanal. Este archivo especifica las fechas de inicio y finalización de un servicio, así como los días de la semana en los que el servicio está disponible. Es obligatorio, a menos que todas las fechas del servicio se definan en calendar_dates.txt.	service_id	monday, tuesday, wednesday, thursday, friday, saturday, sunday, start_date, end_date
calendar_dates.txt	Condicional	Define excepciones para los servicios que se incluyen en el archivo calendar.txt. Si se omite el archivo calendar.txt, entonces el archivo calendar_dates.txt es obligatorio y debe contener todas las fechas de servicio.	service_id	date, exception_type
fare_attributes.txt	Opcional	Define la información sobre las tarifas correspondientes a las rutas de una empresa de transporte público.	fare_id	price, currency_type, payment_method, transfers, transfer_duration
fare_rules.txt	Opcional	Define las reglas para aplicar la información sobre tarifas de los itinerarios.	fare_id	route_id, origin_id, destination_id, contains_id
shapes.txt	Opcional	Define las reglas para asignar las rutas de viaje de los vehículos, también conocido como alineamientos de rutas.	shape_id	shape_pt_lat, shape_pt_lon, shape_pt_sequence, shape_dist_traveled
frequencies.txt	Opcional	Describe el intervalo, es decir, el tiempo entre viajes para las rutas que tienen una frecuencia de servicio variable. También puede incluir una representación comprimida de los servicios que tienen un horario fijo.	trip_id	start_time, end_time, headway_secs
transfers.txt	Opcional	Define las reglas para establecer conexiones en los puntos de trasbordo entre rutas.	from_stop_id, to_stop_id	, to_stop_id, transfer_type, min_transfer_time
pathways.txt	Opcional	Define las reglas para describir las conexiones a pie entre dos paradas dentro de una estación, por ejemplo, entre la entrada y una plataforma. Estos recorridos se representan como los bordes de un gráfico de recorridos a pie.	pathway_id	from_stop_id, to_stop_id, pathway_mode, is_bidirectional

4.1.1.2 Cómo hacer que un feed de transporte público esté disponible para todos

Muchas aplicaciones son compatibles con los datos en formato de GTFS. El método más sencillo para hacer que un feed sea público consiste en alojarlo en un servidor web y publicar un anuncio para que esté disponible para su uso.

En el sitio del [proyecto GoogleTransitDataFeed](#), [6] se incluye una lista de las empresas de transporte público que proporcionan feeds públicos, encontramos ejemplos en España como la red de Transporte Urbano de Madrid, EMT, quien hace público su modelo de transporte público

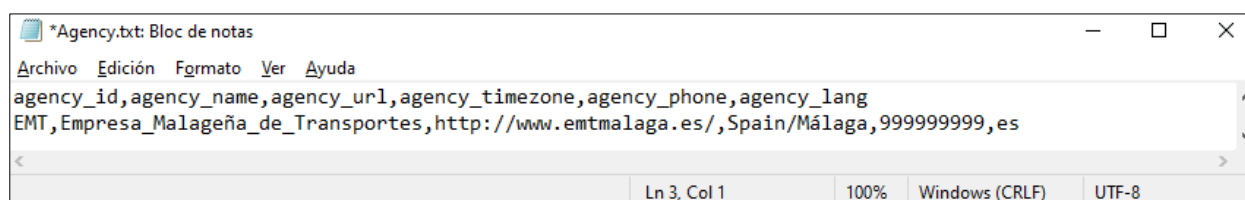
4.1.1.3 Importación de modelo GTFS a Transcad

En el caso concreto del Modelo GTFS de Málaga, que se encuentra disponible en la plataforma de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga [3], éste solo incluye las rutas de autobuses urbanos de la EMT, el resto de rutas (interurbanos) se incorporarán posteriormente a la importación del modelo GTFS.

El modelo GTFS se compone de los siguientes archivos:

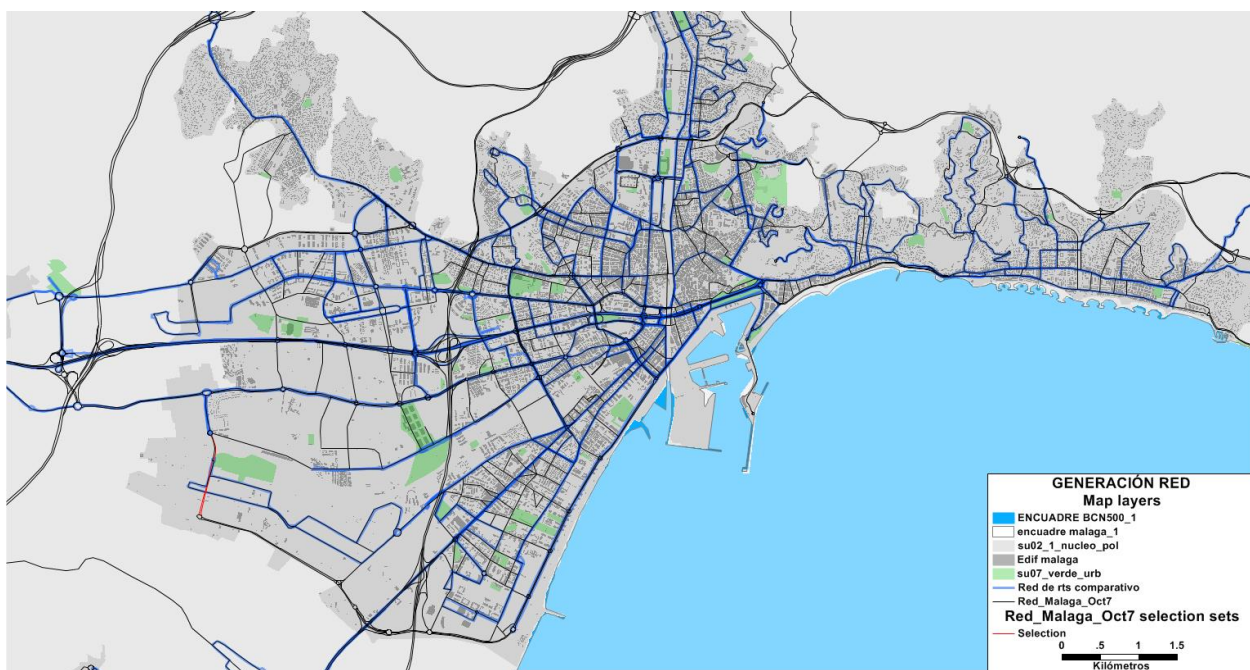
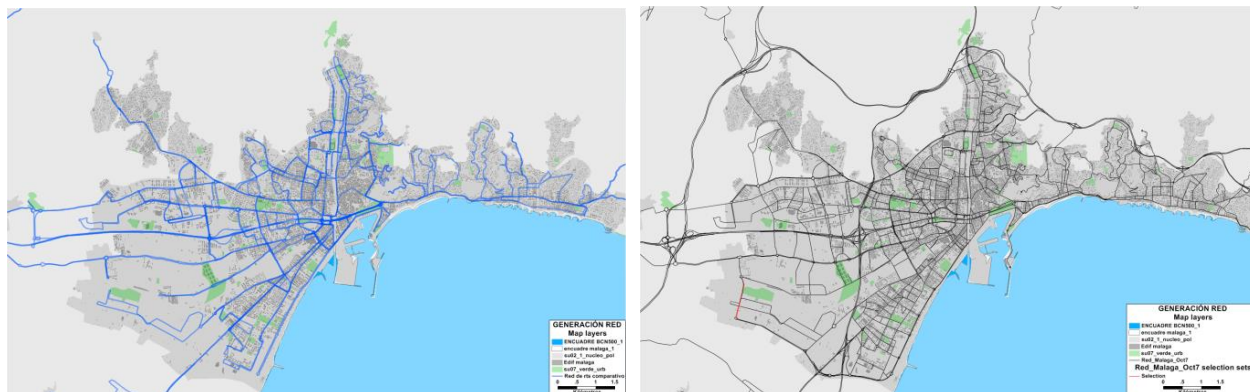
Archivo	Obligatorio	GTFS EMT
agency.txt	Obligatorio	○
stops.txt	Obligatorio	●
routes.txt	Obligatorio	●
trips.txt	Obligatorio	●
stop_times.txt	Obligatorio	●
calendar.txt	Condicionamente obligatorio	●
calendar_dates.txt	Condicionamente obligatorio	●
fare_attributes.txt	Opcional	○
fare_rules.txt	Opcional	○
shapes.txt	Opcional	●
frequencies.txt	Opcional	○
transfers.txt	Opcional	○
pathways.txt	Opcional	○

Como puede observarse, el modelo carece de uno de los archivos obligatorios para la definición, (agency.txt), sin él, Transcad no permitirá la importación, de modo que habrá que generarlo manualmente. No supone ninguna dificultad ya que este archivo únicamente describe el operador de transporte que da servicio a las rutas que contiene el modelo, en este caso la EMT, el archivo agency.txt debería tener la siguiente estructura:



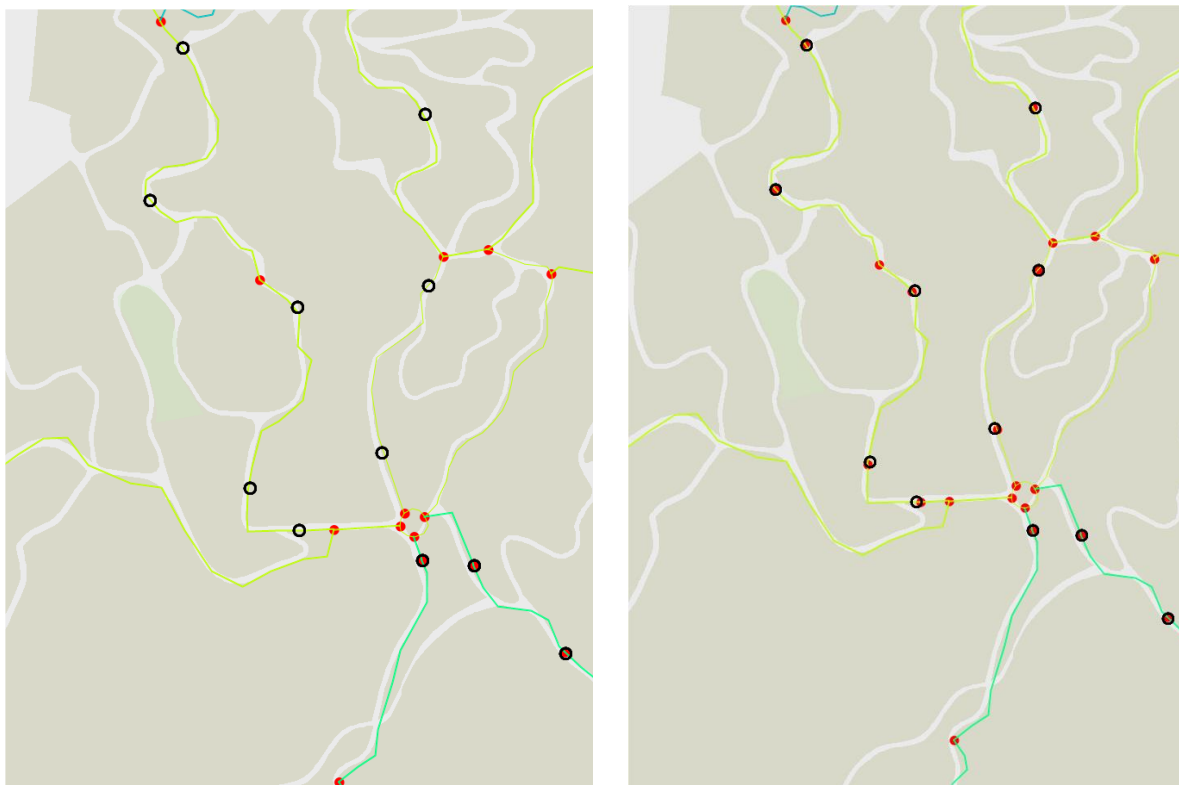
Los modelos GTFS de redes de transporte pueden ser importados a redes viarias previamente creadas. En el caso de que el modelo GTFS haya sido generado en base a la red viaria disponible, la importación no requerirá ningún tipo de actualización o modificación, sin embargo, y como sucede en este trabajo, el GTFS ha sido generado por terceros, de modo que podría haber problemas de compatibilidad entre el GTFS y la red.

Al importarlas, las rutas del modelo GTFS se vincularán al viario más cercano a lo largo de su recorrido, por tanto, es preciso que la red viaria contenga, al menos, todo el viario que forme la red de transporte asociada al modelo GTFS, por lo que es interesante hacer algunas comprobaciones antes de la importación del modelo a la red. Una buena práctica consistiría en importar el modelo GTFS generando su propia red viaria¹, de modo que no existan incompatibilidades ya que la red se generará en base al GTFS y no al contrario, superponiendo la red viaria generada por el GTFS y la red generada por el usuario, resulta sencillo analizar que arcos faltan en la red propia:



Otra práctica recomendada antes de importar un GTFS a una red generada previamente es imponer un nodo en arcos donde se sitúen las paradas del sistema de transporte del GTFS. Esto se debe a que las paradas irán asociadas a un nodo en concreto de la red subyacente, por lo que se evitará que dos paradas diferentes se asocien al mismo nodo. En las imágenes inferiores se muestra la misma red, a la derecha la red está correctamente generada, pues cada parada (aro negro) tiene un nodo (punto rojo) próximo, mientras que en la imagen izquierda esto no ocurre.

¹ Las rutas de ciertos modelos GTFS han sido generados a través de geolocalizadores en los propios autobuses, de modo que cada línea tendrá sus propias coordenadas de ruta, este hecho hace que en el momento de importar un GTFS a una herramienta como transcad, las líneas de autobuses que pasan por un mismo viario no se agrupen en arco común si no que habrá tantos arcos como líneas recorran esa vía, lo que imposibilita crear una red coherente y sea necesario generar un modelo de red previo al que importar el GTFS.

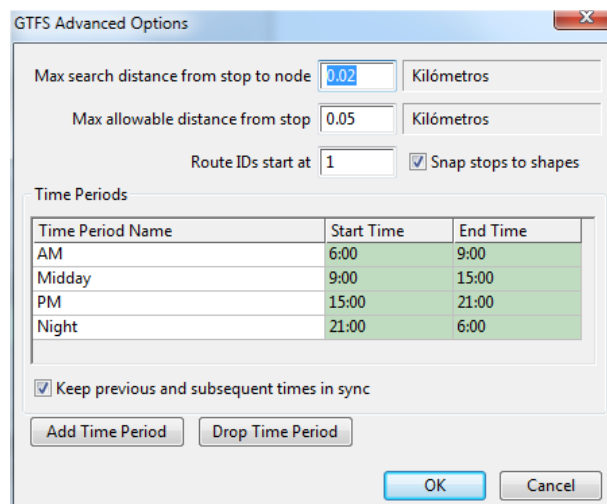


Una vez se tenga el viario totalmente caracterizado, será posible llevar a cabo la importación del GTFS
Route System > Import GTFS Files to Link Layer

Import	Mode	Links Set for Stops	Network	Network Field
<input checked="" type="checkbox"/>	3: Bus	Network features	C:\...19_MALAGA\0_Red\0_Red_19\red.net	lanes_mode

La interface de importación hará una lectura previa de las características del GTFS, el número de rutas y paradas, y se definirá el nombre del *Route System* y *Stops Layer*

Han de definirse ciertos parámetros para la correcta importación, estos son los relacionados con los límites de distancia de búsqueda de líneas y nodos. Además, el usuario puede definir los periodos diarios que más se ajusten a la realidad.



Una vez definidos estos parámetros, dará comienzo la importación y, al finalizar, generará en la interface el sistema de rutas, además de mostrar un cuadro de diálogo con posibles errores de importación como los que se reflejan a continuación:

- Stop *** on trip ** is outside the 0.0600 Kilometers threshold distance.
- Stop *** on trip ** is outside the conflation threshold distance but will be included anyway because a nearby link was found.
- Stop *** on trip *** is outside the conflation threshold distance and will be skipped

Ciertos errores de importación pueden no afectar al buen funcionamiento del modelo, sin embargo, otros si pueden tener efectos negativos, como, por ejemplo, errores en la conectividad de los arcos que forman una ruta, que podrían producir rutas inconexas o recorridos cerrados.

Una vez termine el proceso de importación del modelo GTFS, Transcad creará su propio modelo de transporte público, que incluye las siguientes capas:

Capa	Descripción	Tipo de archivo
Route System	Conjunto de rutas que definen la red de transporte	*.rts
Physical Stops	Ubicación de las paradas físicas de la red de transporte, puede asimilarse a marquesinas o postes	*.dbd
Transit Stops	Ubicación de las paradas de las rutas, define las paradas para cada ruta. De modo que en cada <i>Physical Stop</i> habrá tantas <i>Transit stops</i> como rutas paren en esa parada	*.dbd
Archivos		
Schedule	Define el calendario y los horarios de las rutas. Habrá un archivo para cada tipo de día definido por el modelo GTFS (Laborable, Domingos y festivos, sábados...)	*.SCH

Si la importación es exitosa, el conjunto de líneas importadas (Route System) y sus paradas (Transit and Physical Stops) se mostrarán en el interface de Transcad, como se muestra a continuación. El modelo de red de transporte urbano puede verse con mayor detalle en el plano 6 anexo a este documento.

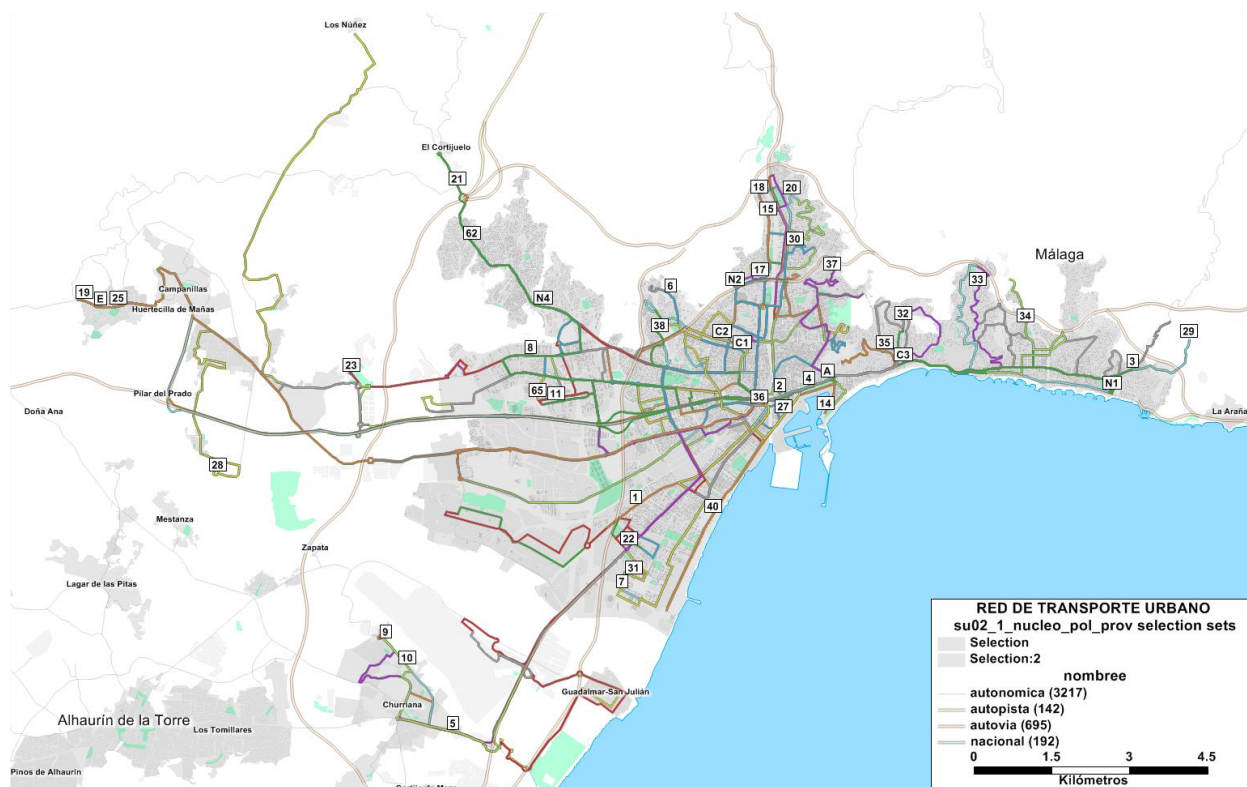


Ilustración 4-1 Líneas importadas desde GTFS de la red de transporte urbano de la EMT

4.1.2 El Transporte Interurbano

A diferencia del transporte urbano, no existen o no se ha hecho público el modelo GTFS de las rutas que dan servicio al área metropolitana, de modo que, para la incorporación de estas líneas, habrá que recurrir a otros métodos.

Para la creación de las rutas, se ha incorporado una nueva capa al entorno de Transcad que contiene la localización de las paradas para cada una de las rutas que componen la red de transporte metropolitano.

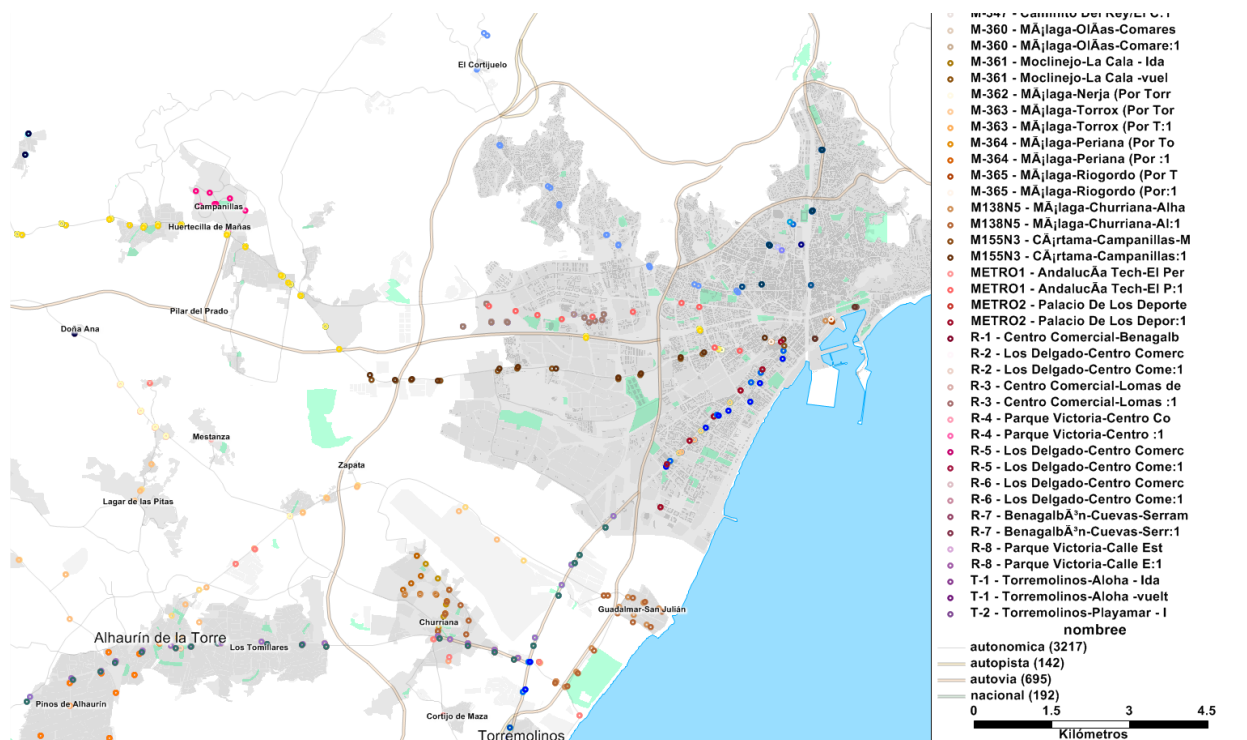
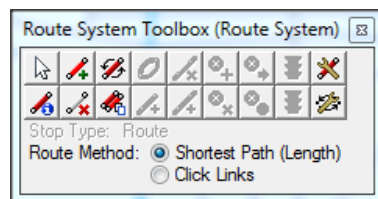



















Ilustración 4-2. Localización de las paradas de la red de transporte metropolitano


Conociendo el recorrido de las rutas es posible comenzar con la digitalización de dichas rutas, para ello, se abre la caja de herramientas del Route System:

Route System > Editing Toolbox.

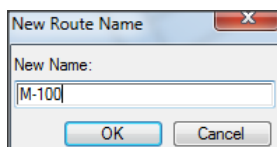



Esta caja de herramientas muestra diferentes botones para la creación de las líneas y paradas, así como los métodos de creación:

-  Selecciona una ruta previamente creada para modificarla o eliminarla. las ruta o rutas aparecen en negrita cuando están seleccionadas.
-  Crea una nueva ruta.
-  Genera automáticamente la ruta inversa a otra ya creada, incluyendo sus paradas.
-  Actualiza y alinea una o varias rutas con la red base. En ocasiones, cuando se hacen modificaciones de la red base, la ruta puede quedar desacoplada visualmente, esta herramienta vuelve a solapar la ruta con los respectivos arcos por donde discurre.
-  Elimina una sección de una o varias rutas.
-  Ver y editar la información asociada a la ruta seleccionada.
-  Elimina una o varias rutas.
-  Duplica una ruta seleccionada.
-  Extiende una o varias rutas seleccionadas.
-  Une dos extremos de una o varias rutas.
-  Crea una parada sobre la ruta o rutas seleccionadas.
-  Desplaza una parada a una nueva posición.
-  Elimina una parada.
-  Guarda los cambios realizados.
-  Deshace los cambios realizados.
-  Opciones sobre el método de creación de las rutas.
-  Configuración del "Network".



Se comienza por tanto la generación de las nuevas rutas mediante el icono  de la caja de herramientas, La ruta tendrá inicio y fin en nodos de la red base, por tanto, si existiera un arco en cuya parte central comience o termine una ruta, este arco deberá ser dividido en 2 para generar un nuevo nodo donde se desee

Una vez generado el primer tramo de ruta se visualizará el objeto "New Route Name".

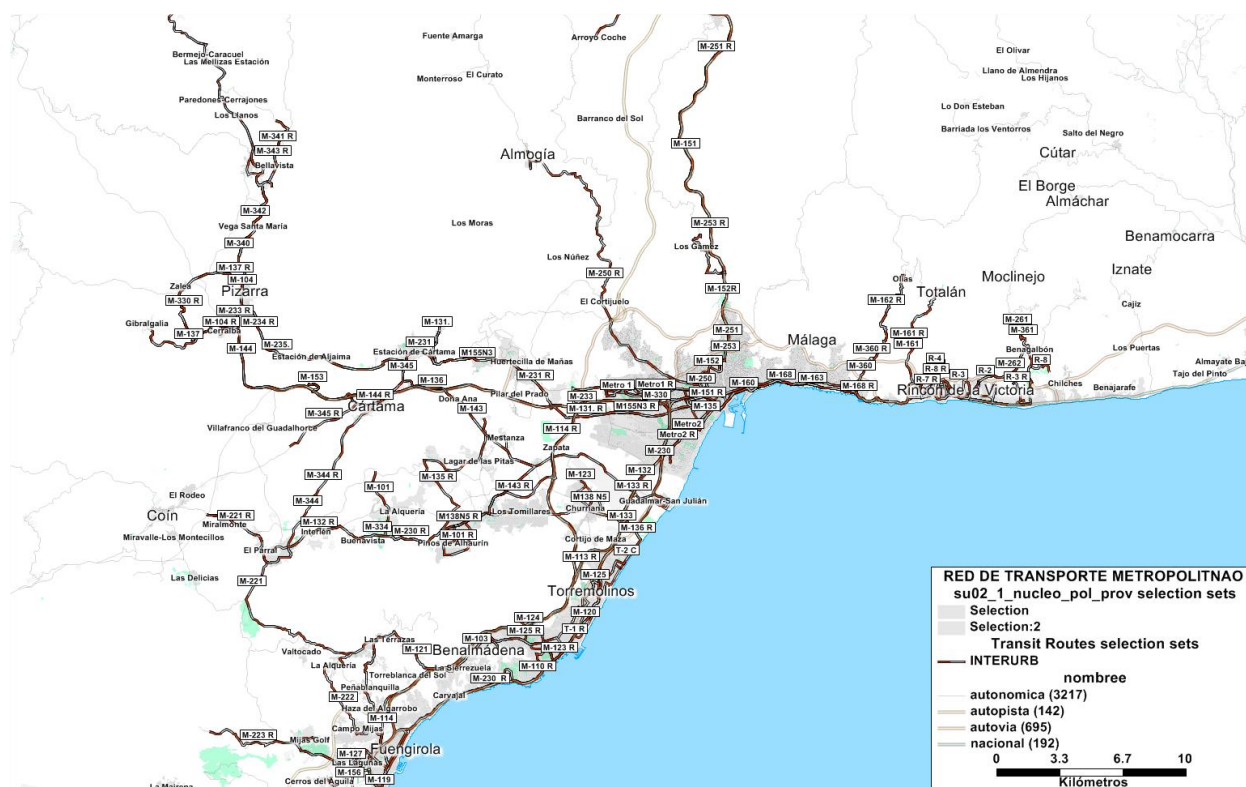


El primer tramo de la ruta aparecerá en negrita sobre la red, para continuar generando la ruta hacer clic en el icono  "Extended Route" y hacer doble Clic en el segmento continuo de la red vial por donde continúe la ruta.



Activando el icono  la ruta queda digitalizada en un sólo sentido, para modificarla, se hace clic en el icono de selección  de la caja de herramientas.

La imagen inferior muestra el resultado de la digitalización del conjunto de líneas que forman la red de transporte metropolitano. Puede verse con más detalle en el Plano 7 anexo a este documento.



4.2 Recursos y utilidades del modelo

El software Transcad dispone de potentes recursos de creación, explotación y análisis de los modelos de transporte público, se desarrollarán a continuación aquellos que hayan sido utilizados para la realización de este trabajo:

4.2.3 Cálculo de matrices de costes

Transcad dispone de herramientas de cálculo de costes (monetarios y temporales) de viaje entre distintos puntos del ámbito de estudio definidos por el usuario, de modo que pueden analizarse la calidad y accesibilidad del servicio a lo largo del territorio, estas matrices de costes han servido para obtener los indicadores de accesibilidad que se analizan en el capítulo 5 Diagnóstico y Propuestas.

Transit > Skimming...

En el cuadro de diálogo se definirán los nodos origen destino que quieran ser incorporados a dicho análisis. Además, el análisis puede ser multivariable (tiempo total de viaje, tarifa, número de transbordos, tiempo de viaje en transporte público, etc.)

4.2.4 Búsqueda Interactiva de rutas entre dos puntos

Transit > Interactive Pathfinding

Mediante esta herramienta, el usuario podrá definir, sobre la interface de Transcad, el Origen y Destino de un viaje de manera que el software mostrará las rutas o combinaciones de rutas posibles entre ambos puntos.

La búsqueda de la ruta puede realizarse únicamente por caminos mínimos o atendiendo a los horarios de paso por parada (en este segundo caso se deberá definir la hora de salida desde el punto de origen). El software devolverá una hoja de ruta definiendo las paradas, líneas y transbordos utilizados,

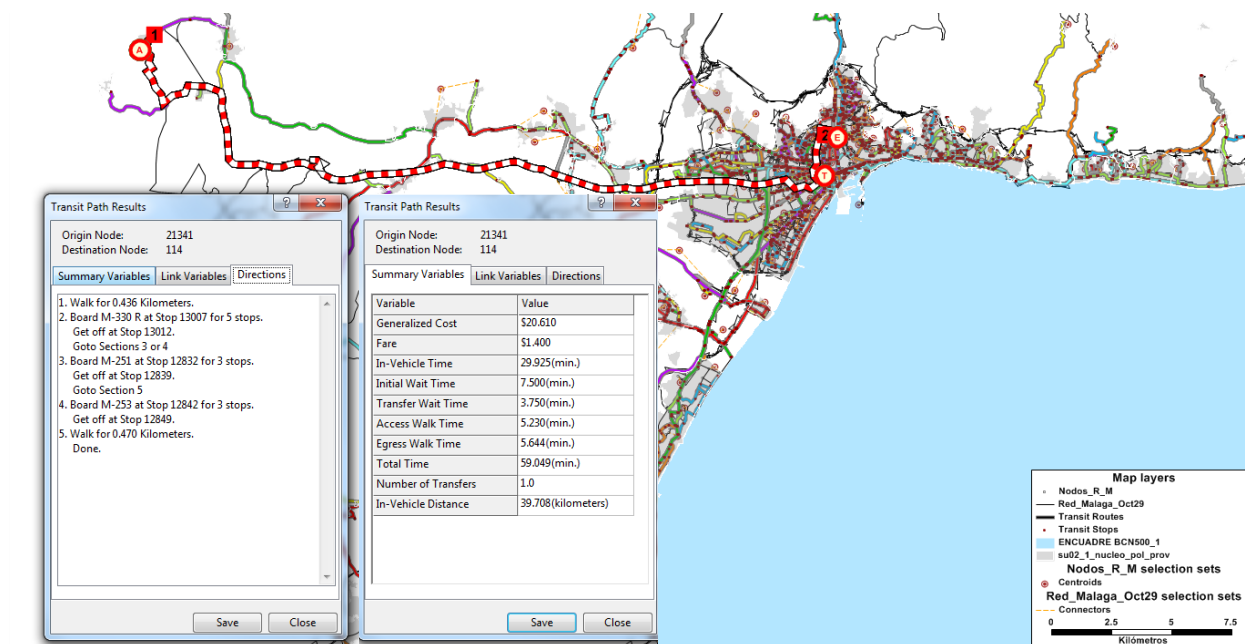


Ilustración 4-3. Interactive Pathfinding. Basado en ruta más corta.
 Fuente: Transcad. Elaboración propia

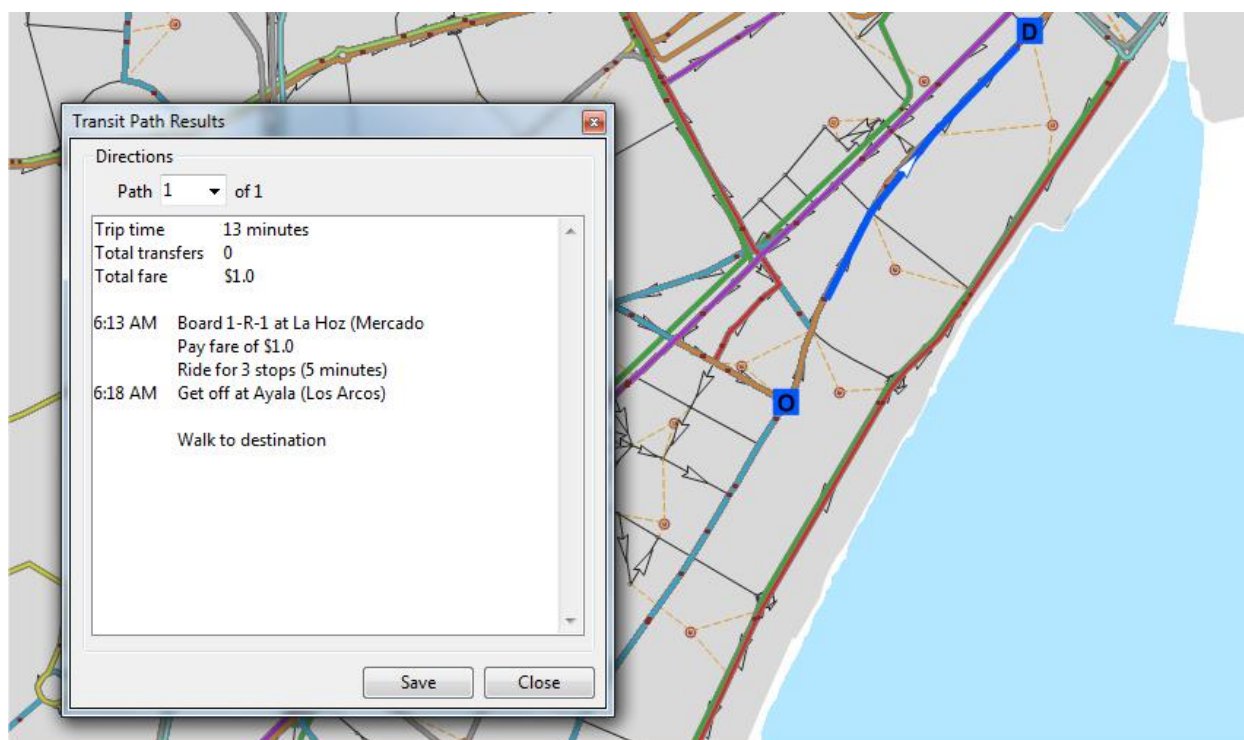


Ilustración 4-4. Interactive pathfinding. Basado en horarios
Fuente: Transcad. Elaboración propia

4.2.5 Servicio por zonas

Un recurso parecido al definido anteriormente es el [Route Service Browser],

Route System > Route Service Toolbox...

Con esta herramienta pueden definirse, en la interface de Transcad, zonas de origen y destino y obtener un listado de todas las líneas que dan servicio directo las zonas definidas por el usuario. A modo de ejemplo, se han obtenido las líneas que dan servicio entre Ciudad Universitaria y el Centro Histórico de Málaga, obteniéndose un total de 10 rutas (8 de la EMT y 2 de la red de transporte metropolitano)

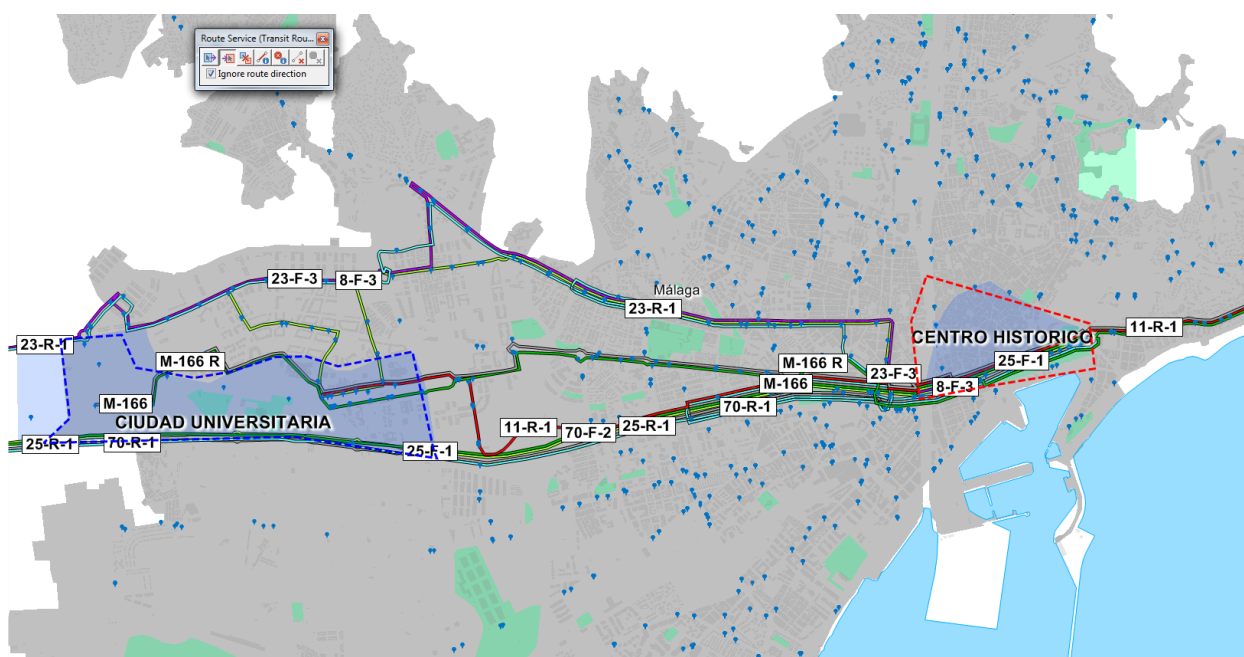


Ilustración 4-5. Ejemplo de obtención de rutas entre 2 áreas geográficas. (Route service).
Fuente: Transcad. Elaboración propia

IDENRTIFICADOR	Línea
8-F-3	Alameda Principal - Colonia Santa Inés -- Clínico
23-F-3	Alameda Principal -- El Consul -- Parque Cementerio
23-R-1	Alameda Principal -- El Consul -- Parque Cementerio
M-166	Rincón de la Victoria -- Universidad -- Clínico
M-166 R	Clínico -- Universidad -- Rincón de la Victoria
25-F-1	Paseo del Parque -- Campanillas -- Maqueda
25-R-1	Paseo del Parque -- Campanillas -- Maqueda
70-F-2	Paseo del Parque -- PTA (Express)
70-R-1	Paseo del Parque -- PTA (Express)
11-R-1	Universidad -- Alameda Principal -- El Palo (P. Virginia)

4.2.6 Animaciones del servicio sobre Ventana temporal

A partir de los horarios de paso por paradas definidos en la tabla de horarios, puede llevarse a cabo una simulación de la localización de los autobuses de forma dinámica, a intervalos de tiempo definidos por el usuario. Esta herramienta puede dar una idea del volumen de vehículos sirviendo una zona o área de estudio y la envergadura que puede alcanzar un Sistema de Transporte Público como el analizado.

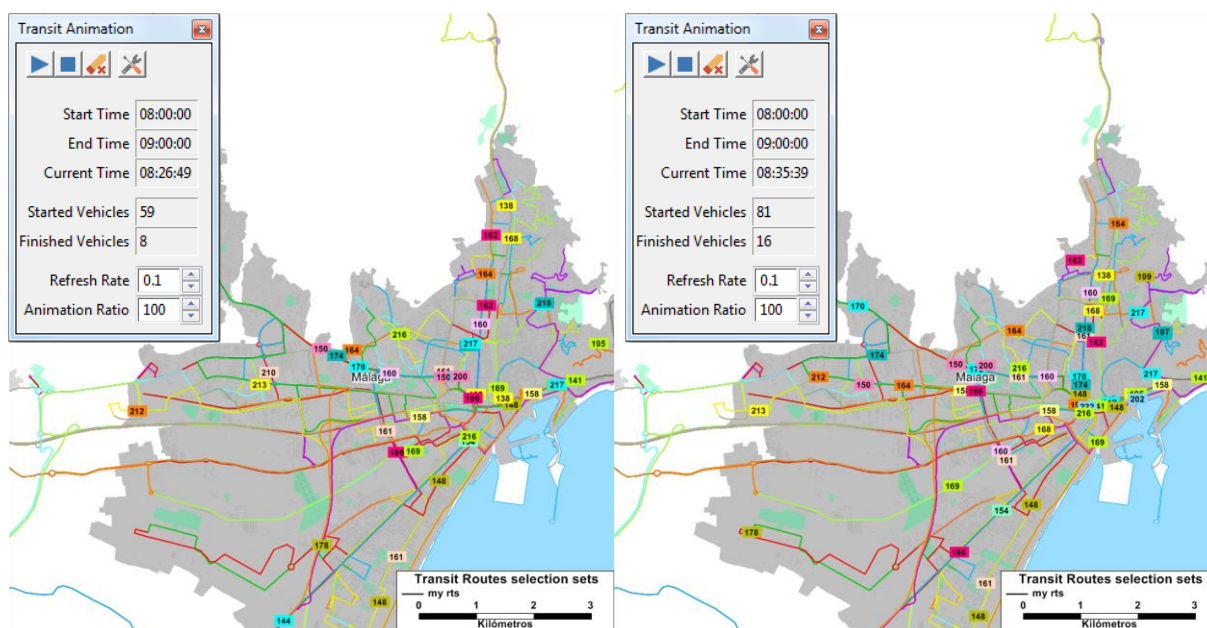


Ilustración 4-6. Ejemplo de asignación dinámica de vehículos en el entorno de Transcad.
 Fuente: Transcad. Elaboración propia

4.2.7 Asignación de viajes

Quizá este sea el proceso más interesante a la hora de analizar las debilidades de un Sistema de Transporte Público, puesto que asignará a la oferta la demanda de viajeros y, por tanto, podrán obtenerse parámetros como ocupación de líneas o recuentos de subidas y bajadas en paradas, entre otros.

El modelo debe ser capaz de analizar la movilidad de la población en día laborable en los diferentes modos de Transporte. Los problemas de congestión en la red viaria y la posible transferencia modal requerirán el desarrollo de modelos para los periodos punta, en las condiciones más desfavorables para cada modo. Por tanto, se tratará de desarrollar el modelo en hora punta en los que se producen las demandas más elevadas y por tanto establecen las condiciones más desfavorables.

Para una correcta asignación de la demanda del transporte público sobre el modelo generado, habrá que hacer una correcta selección los parámetros que determinarán la asignación de la demanda, son en definitiva, parámetros que describirán el comportamiento de los usuarios (velocidad peatonal, preferencias para la elección

del modo de transporte dentro de la oferta, preferencias sobre los tiempos de espera, a pie o de transbordo, los pesos de las tarifas, los tiempos o el máximo número de transbordos para la elección de la mejor ruta, etc.) frente a la oferta del transporte, y por tanto, tendrán especial relevancia sobre los resultados que aporte la asignación de la demanda.

Transit > Transit Network Settings

TransCAD aporta diferentes métodos de asignación y elección de viajes. La principal diferencia entre estos métodos radica en las hipótesis sobre el modo en que el viajero elige o no una determinada ruta entre el abanico de posibilidades.

Transit > Assignment

The Pathfinder Method: Es el modo de asignación más completo, ya que mediante este método de asignación se tiene en cuenta el sistema tarifario de las líneas para calcular la ruta óptima. Esto se hace mediante el uso de un coste generalizado de viaje en vez de utilizar únicamente el tiempo de viaje como medida a minimizar en la elección de la ruta.

El coste generalizado de viaje se calcula aplicando un factor de valor del tiempo, el cual es especificado por el usuario, convirtiendo así los tiempos de espera y de viaje en unidades monetarias, combinándolas posteriormente con las tarifas de cada viaje.

Una vez se lleve a cabo la asignación, Transcad generará una serie de tablas y capas donde se encuentran los resultados de dicha asignación:

- **Aggregated Flows:** Esta tabla contiene los datos de flujos de viajeros sobre la red de carreteras, de modo que su identificador único (ID1) hará referencia al identificador de los arcos de la red, de modo que los datos de flujos de movimientos sobre los arcos se obtienen como los agregados del total de todas las líneas que atraviesan dicho arco. Los datos agregados de movimientos que se recopilan en este archivo son los siguientes:

Atributo	Descripción
ID1	ID del arco asociado
TransitFlow	Flujo de viajeros en transporte público asignados en el arco
NonTransitFlow	Flujo de viajeros en transporte privado (park and ride) asignados en el arco
Total_TransitFlow	Flujo total de viajeros
Access_Walk_Flow	Flujo peatonal de acceso
Xfer_Walk_Flow	Flujo peatonal por transbordos entre paradas
gress_Walk_Flow	Flujo peatonal fin de viaje

- **Transit Flows:** En este caso, los datos de movimientos de viajeros se asocian a cada una de las líneas que forman la red de transporte público, de modo que es posible analizar la distribución de los viajeros por tramos en cada una de las líneas

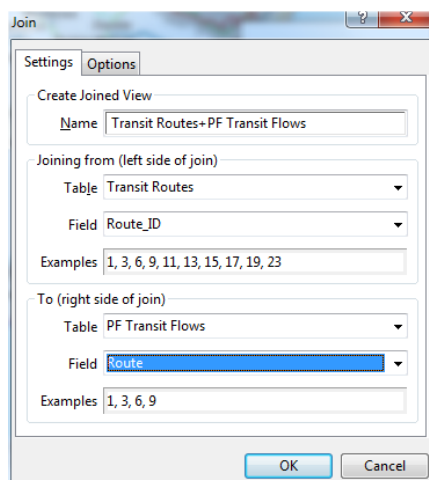
Atributo	Descripción
Route	Ruta asociada
From_Stop	Parada de inicio del tramo
To_Stop	Parada final del tramo
TransitFlow	Flujo en el tramo de la ruta
BaseIVTT	Tiempo de viaje en transporte público del tramo
DwellOn	Subidas
DwellOff	Bajadas
Cost	Coste del tramo
VOC	Ocupación del tramo

- **Walk Flows:** Reúne únicamente los movimientos peatonales sobre la red de transporte
- **On Off:** Se asocia a la capa de paradas de la red de transporte público

Atributo	Descripción
STOP	ID de parada asociada
ROUTE	Ruta
On	Subidas
Off	Bajadas
WalkAccessOn	Viajeros subidos (solo como inicio de trayecto)
DirectTransferOn	Número de transbordos (de subida) directos en la parada
WalkTransferOn	Número de transbordos (de subida) desde otras paradas
DirectTransferOff	Número de transbordos (de bajada) directos en la parada
WalkTransferOff	Número de transbordos (de bajada) desde otras paradas
EgressOff	Volumen de viajeros bajan (fin del trayecto)

Para analizar los resultados obtenidos de la asignación, es útil realizar uniones entre la tabla de atributos de los arcos que forman la red, de las líneas, o de las paradas, para ello basta con realizar una unión entre la tabla de atributos de la capa que se quiere caracterizar y su correspondiente tabla resultado de la asignación

Dataview > Table > Join...



Se puede ver en detalle resultados de la asignación (Volumen de viajeros y recuento de subidas y bajadas en paradas) en los Planos 8 y 9 anexos a este documento.

4.2.7.4 Strip Chart

Realizando una unión entre la tabla de atributos de rutas y el archivo [Transti Flows], pueden obtenerse oscilogramas de carga de viajeros para una ruta de la red de transporte público, donde podrá analizarse tanto el volumen de viajeros en los tramos de la ruta como la subida y bajada por paradas.

Transit > Transit Ridership Chart

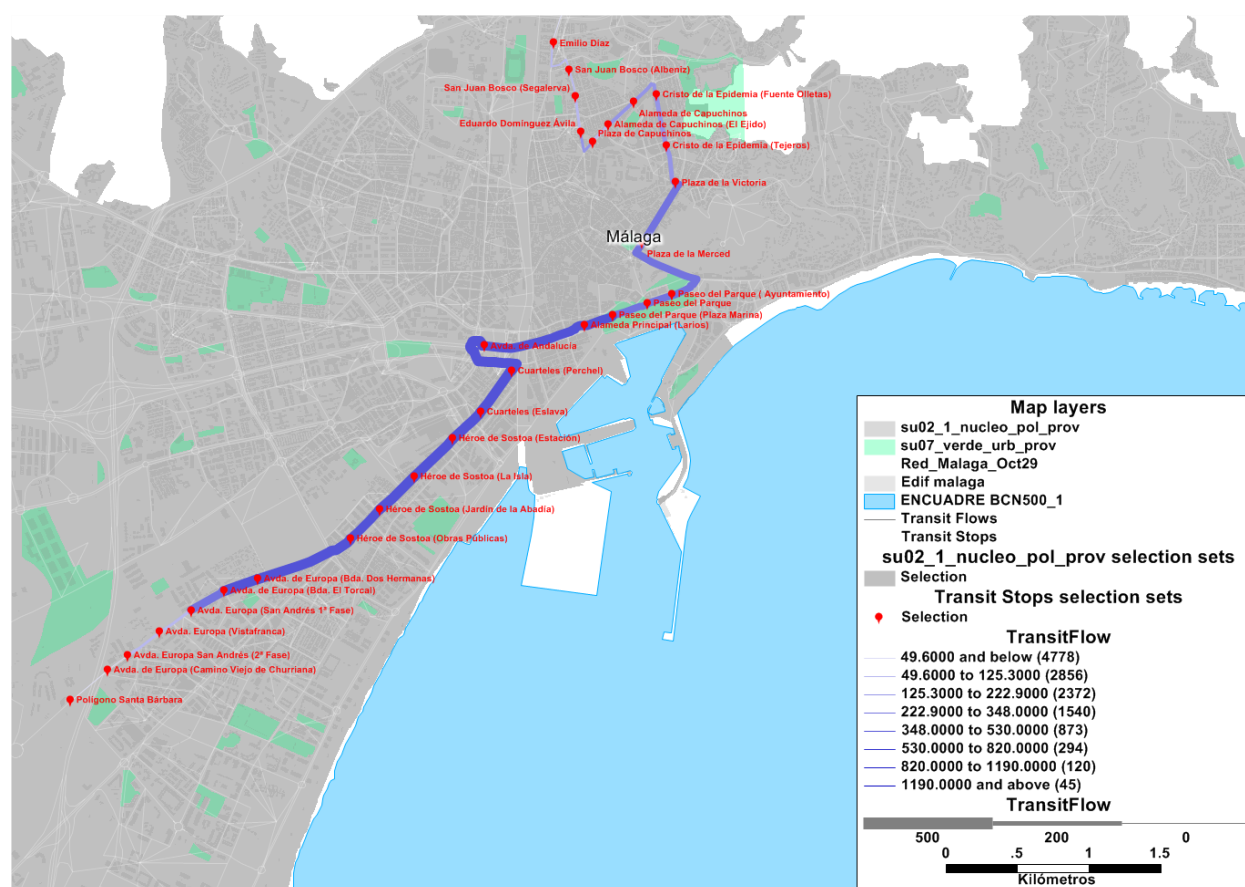
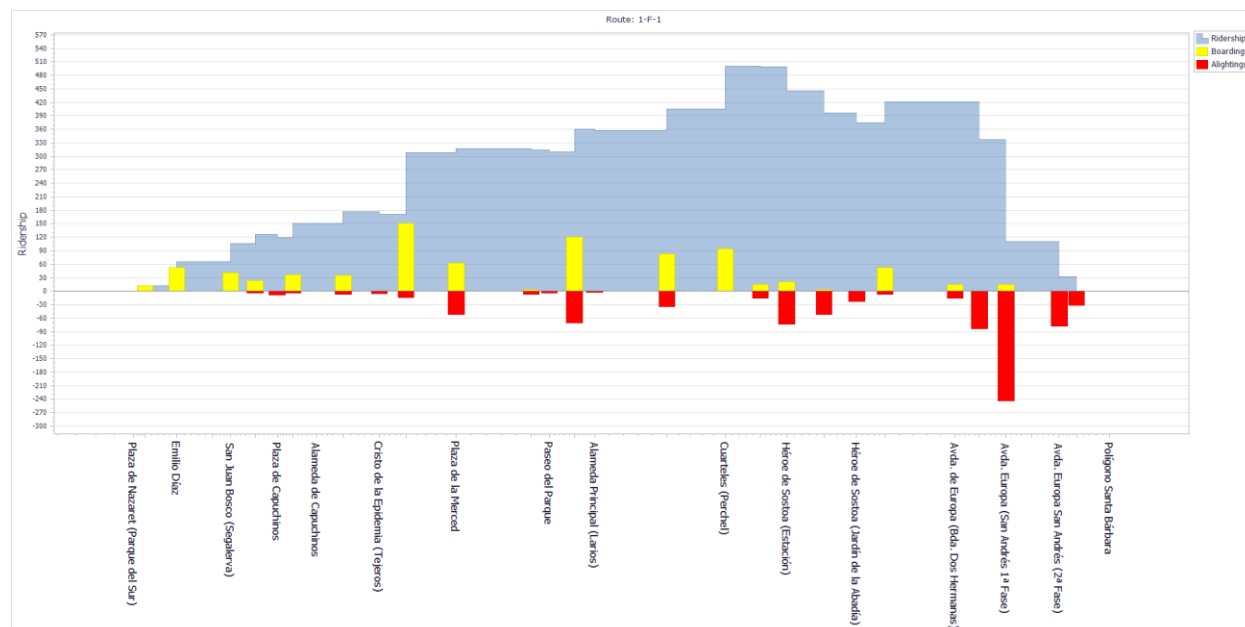


Ilustración 4-7 Ilustración 4-8 Oscilograma de carga de la Línea 1 de la EMT. (HPM EDM14)

Fuente: Transcad. Elaboración propia

4.2.7.5 Boarding Heat Map

A partir de los datos obtenidos de subidas y bajadas por paradas, pueden obtenerse mapas de calor asociados a los movimientos de subida o bajada de los usuarios,

Transit > Boarding Counts Heat Map

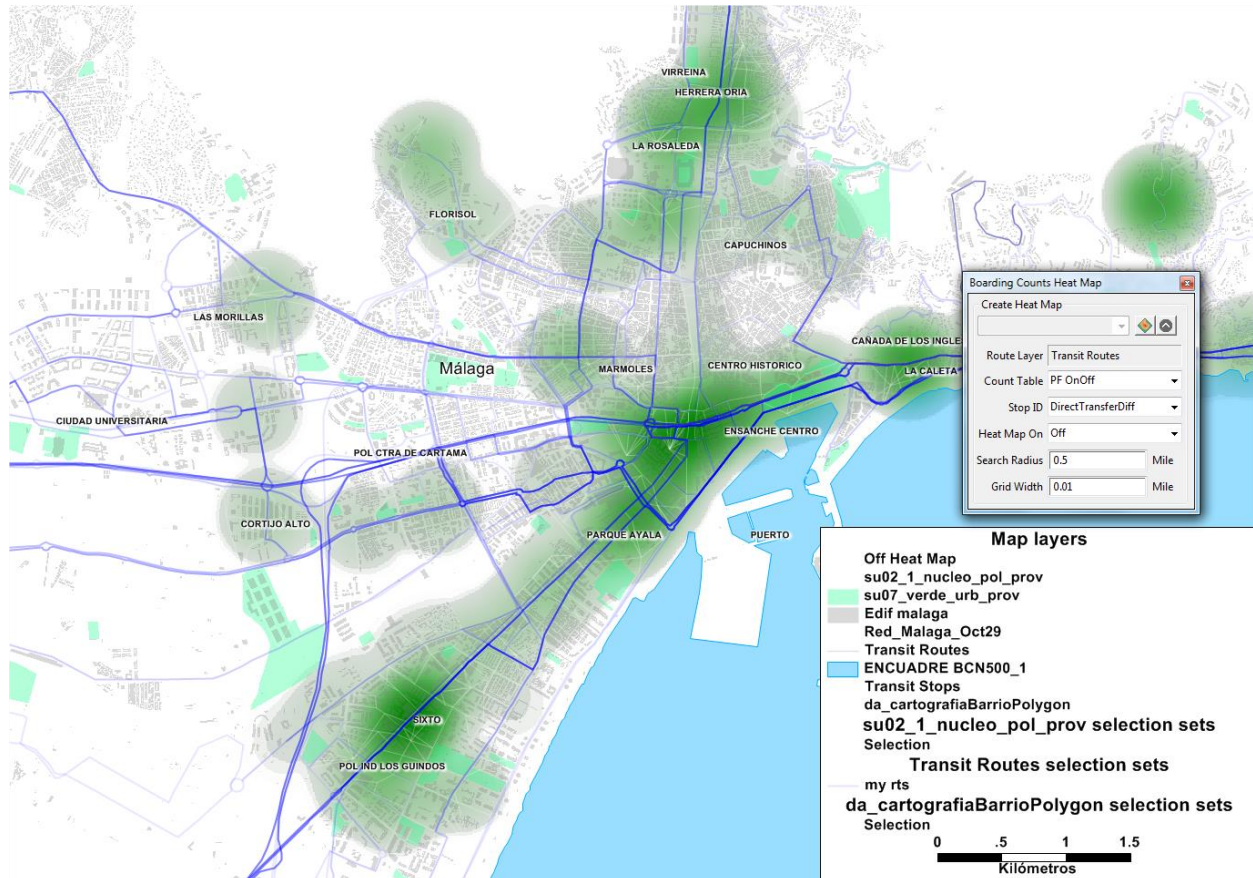


Ilustración 4-9 Mapa de calor de bajadas de viajeros del transporte público (HPM EDM14)

Fuente: Transcad. Elaboración propia

4.2.7.6 Mapas de flujos de viajeros

Pueden generarse mapas de color y tamaño de los flujos de viajeros obtenidos mediante la asignación, para ello habrá que realizar una unión entre la capa de carreteras (si se quiere analizar los flujos totales sobre los arcos) o la capa de rutas (si se quiere analizar el flujo por ruta) con el archivo [aggregated_flow.bin] o [transit_flow.bin] respectivamente, y posteriormente:

Map > Thematic Mapping > Color... Size... Chart... ó Pattern...

A modo de ejemplo, se ha representado un mapa de color y tamaño, que caracterizan el volumen total de viajeros de transporte público en la hora punta de mañana (8:00 a 9:00) obtenido de la asignación de los datos de la EDM14.

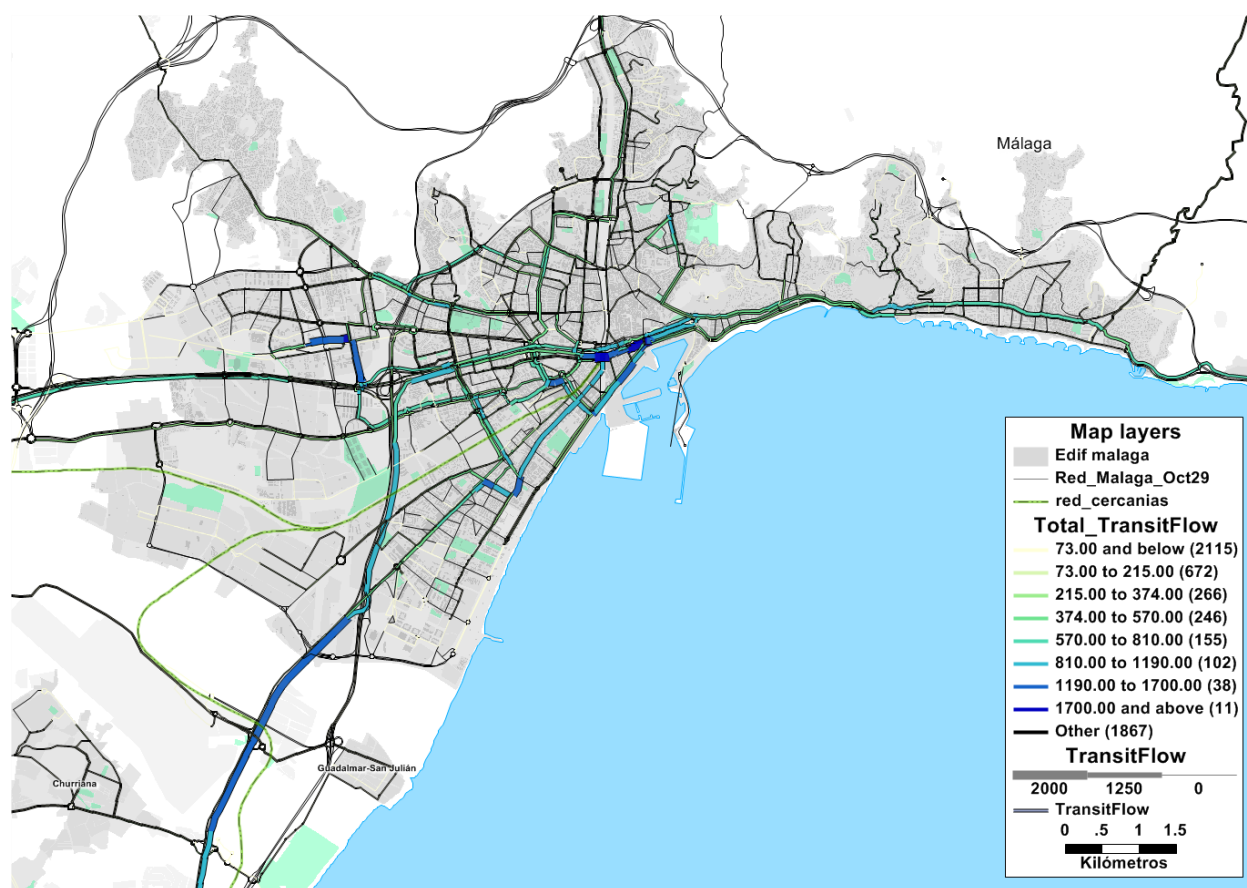
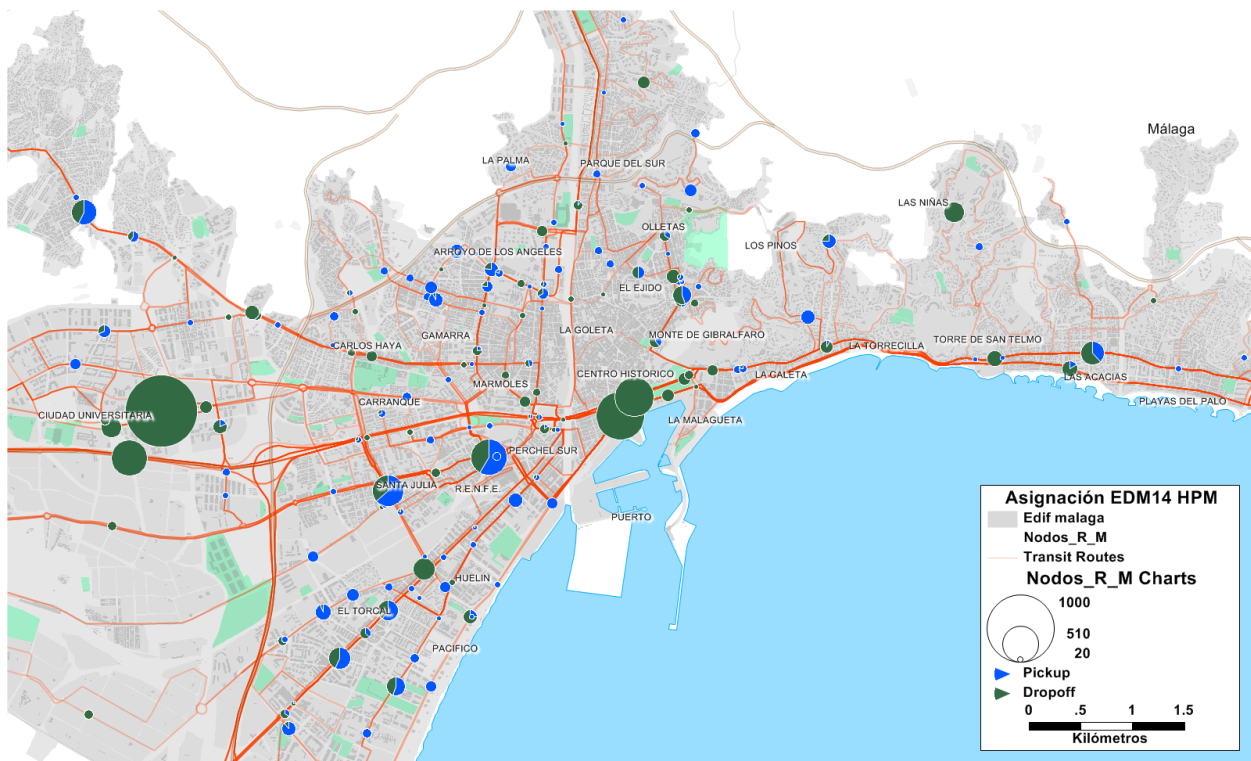


Ilustración 4-10. Ejemplo de Mapa de volumen de viajeros del transporte público (HPM EDM14)

Fuente: Transcad. Elaboración propia

Otro modo interesante de análisis de la demanda asignada es el recuento de subidas y bajadas en paradas de la red, esto se consigue a partir de la unión entre la tabla de atributos de la capa de paradas y la tabla de recuento de subidas y bajadas de resultado de la asignación [OnOff.bin], de esta manera, y mediante un mapa temático, puede representarse la carga de subidas y bajadas de las paradas, de modo que puede analizarse, de manera sencilla, cuáles son las paradas con mayor volumen de pasajeros.



En el siguiente capítulo se varios de estos resultados para analizar el estado de la red de transporte público, la calidad del servicio y su accesibilidad, además se plantearán posibles propuestas de mejora en base a las asignaciones de demanda realizadas sobre la red de transporte.

5 DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS

Las áreas metropolitanas constituyen formas cada vez más sofisticadas de estructuración del territorio y la aglomeración urbana de Málaga no es ajena a este hecho.

Se detectan pautas de comportamiento en favor al uso del automóvil, no solo por parte de los usuarios (así lo demuestra el reparto modal) sino también por parte de la administración que históricamente ha apostado por la inversión en infraestructura viaria en lugar de por la inversión en infraestructura y servicio de transporte público, por no hablar de los modos no motorizados que históricamente han sido los grandes olvidados en el ámbito metropolitano.

Así la situación actual se caracteriza por la existencia de un modelo de crecimiento urbano extensivo, un reparto modal poco sostenible con un protagonismo cada vez mayor del automóvil ha provocado un sistema de transportes con una configuración y problemática que se quiere analizar:

5.1 Indicadores de accesibilidad y calidad del servicio

Se ha desarrollado un sistema de indicadores diseñado para evaluar la sostenibilidad de los patrones de movilidad diaria y el sistema de transporte en las ciudades.

El sistema se deriva de los que se consideran atributos de un modelo de movilidad sostenible, accesibilidad y calidad del servicio y se estructura en torno a tres componentes: movilidad observada, transporte público y demografía. Los indicadores se han diseñado para su aplicación a escala intraurbana y se ensayan sobre las Zonas de Transporte delimitadas en la provincia de Málaga, esta delimitación puede verse con detalle en el Plano 3 anexo a este documento.

5.1.1 Indicadores de movilidad

Para la elaboración de los indicadores correspondientes a este componente, se han utilizado exclusivamente La Encuesta Domiciliaria de Movilidad 2014 del Consorcio Regional de Transporte, que proporciona adecuadamente la información para caracterizar los patrones de movilidad observada de la población. En una lectura desde la sostenibilidad, el medio de transporte elegido para los desplazamientos es con claridad el indicador más relevante, seguido posiblemente por la duración de los viajes.

		Cod	Indicador	Unidad	Descripción	mejor
indicadores de movilidad	modo	MM_01	Viajes no motorizados	%	Número de desplazamientos en modo a pie respecto al total de desplazamientos generados	>
		MM_02	Viajes transporte público	%	Número de desplazamientos en Transporte Público respecto al total generado	>
	Temporale	MT_03	Duración media de los desplazamientos en transporte público	minutos	Duración Media de los desplazamientos en Transporte Público con origen esta ZT	<

El estudio de los resultados obtenidos por los indicadores en las diferentes zonas de transporte puede ser sintetizado en estos puntos:

La distribución espacial de la proporción de viajes no motorizados (indicador **MM_01**) reproduce de una forma muy clara la estructura de la ciudad: los valores más altos se dan en las zonas más antiguas, densas y compactas, mientras en los nuevos desarrollos urbanísticos de la periferia aparecen considerablemente más bajos.

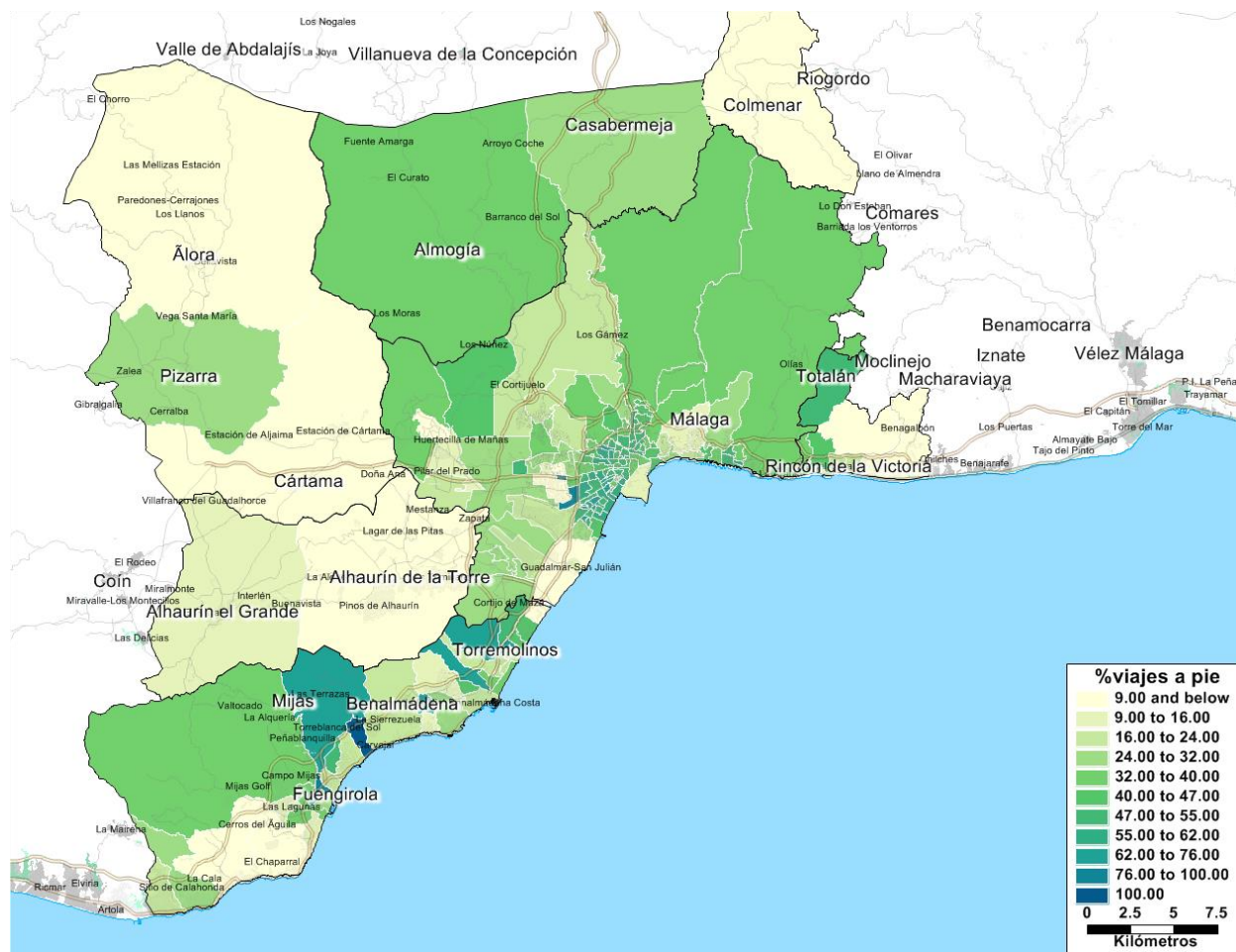


Ilustración 5-1. Indicador MM_01
 Fuente: Elaboración propia (Transcad)

El porcentaje de viajes en T. público (**M_02**) muestra en general valores muy bajos. La distribución espacial de los resultados parece sensible a la proximidad de las estaciones de cercanías y las paradas de los autobuses interurbanos que conectan con Málaga. Este hecho interesa desde el punto de vista de la sostenibilidad, porque subraya la importancia de conseguir una buena accesibilidad interior a la movilidad exterior; dicho de otra forma, un buen modelo de intermodalidad. La zona de transporte de Colmenar tiene un valor muy por encima de la media, muy alejado del promedio de zonas de transporte fronterizas, estas variaciones tan altas pueden deberse a anomalías puntuales de los datos de la EDM14, en este caso, debido al bajo número de desplazamientos totales que con origen Colmenar.

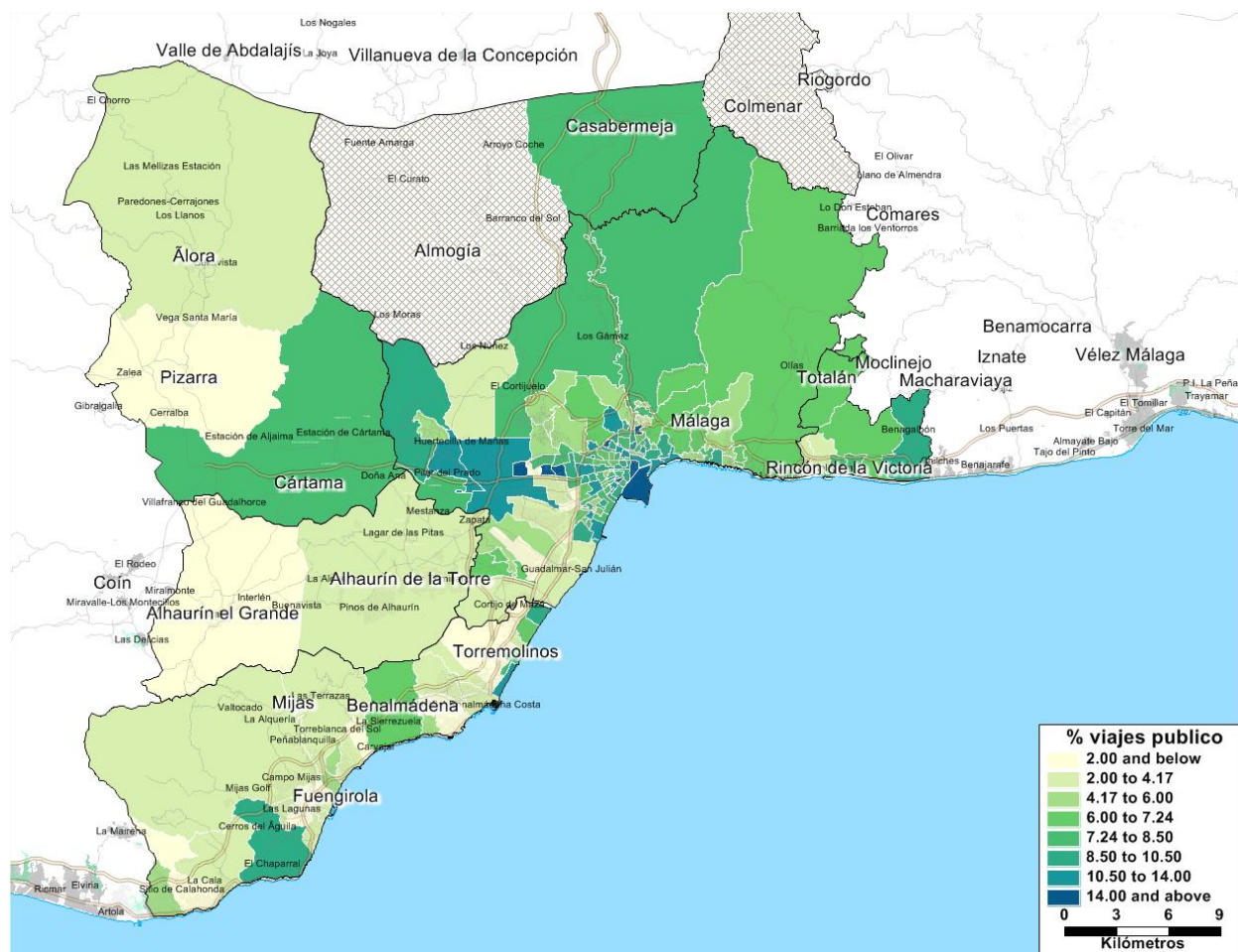


Ilustración 5-2. Indicador MM_02
Fuente: Elaboración propia (Transcad)

Por último, los indicadores de tiempo de desplazamientos (**MT_03**) siguen patrones espaciales claros, a mayor distancia del centro de Málaga, mayor tiempo de viaje de los desplazamientos en transporte público. Esto se debe a que el núcleo de Málaga es el principal centro atractor de viajes y, por tanto, las zonas más alejadas tendrán una duración de viaje mayor.

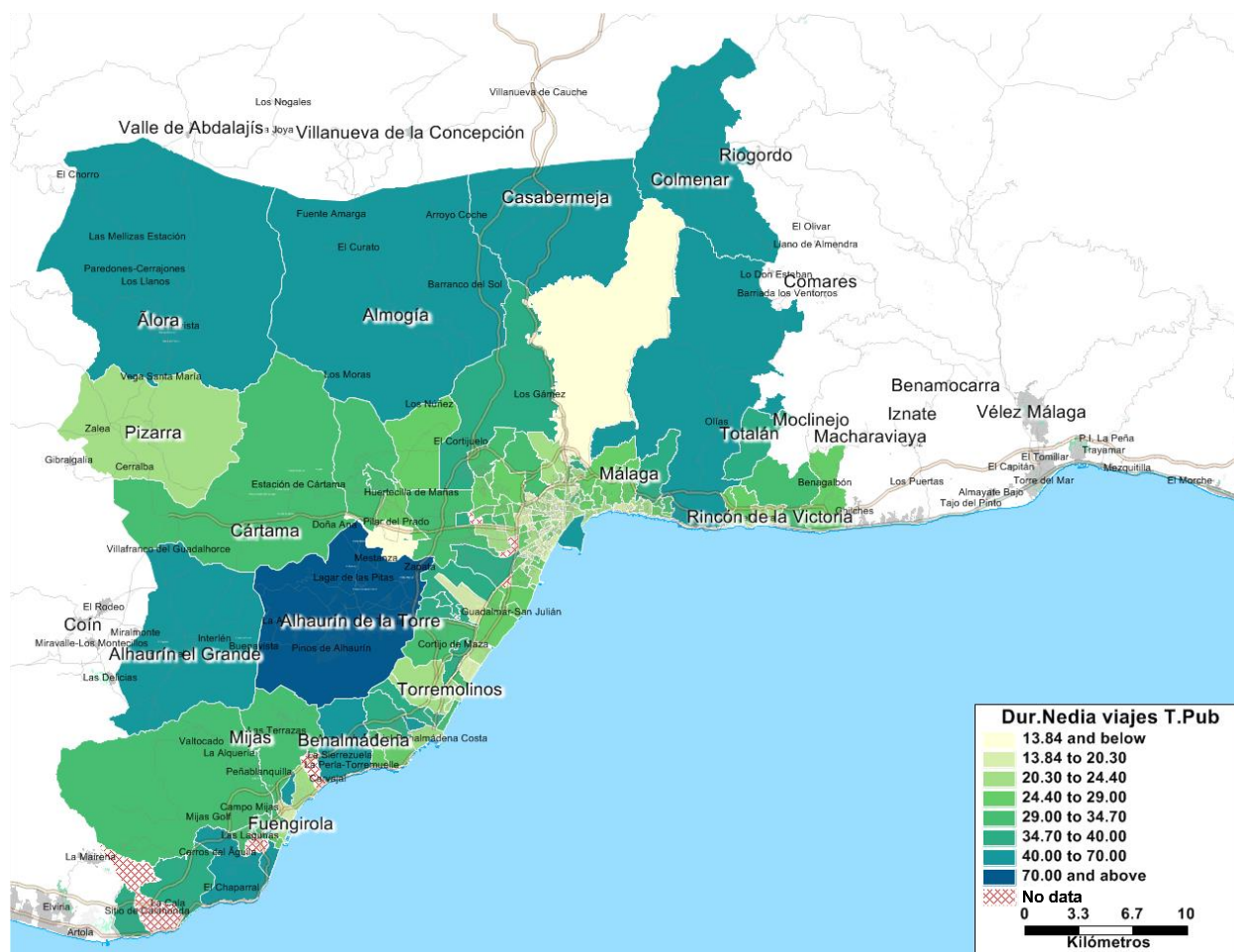


Ilustración 5-3. Indicador MT_03
Fuente: Elaboración propia (Transcad)

5.1.2 Indicadores del sistema de Transporte Público

Un sistema de transporte sostenible debe ser eficaz y espacialmente equitativo, que favorezca la accesibilidad a los recursos espacialmente distribuidos en el territorio más que la movilidad y que, para ello, garantice la conexión entre los desplazamientos intra e interurbanos y la intermodalidad.

Con los indicadores del sistema de transporte se ha pretendido recoger tanto aquellos que evalúan las condiciones del transporte público para la movilidad de la población (dotación y calidad del servicio), como los que están destinados a medir su aptitud para favorecer el acceso equitativo a la red (distribución de paradas en relación a la población y estructura de la red -eficacia, interconectividad-), o los que muestran analizan las debilidades del transporte público frente al transporte privado

		Cod	Indicador	Unidad	Descripción	(mejor)
transporte	dotación	TD_01	Paradas por cada/km2	Paradas/km2	Número de paradas por línea de bus km2 en cada ZT.	>
		TD_02	Densidad de la red de transporte público	%	Mide la ocupación territorial de la red de transporte en términos de Km de líneas por Km2 de superficie de la ZT	>
	estructura de la red/Accesibilidad	TE_03	índice de desvío	%	Cociente entre la distancia recorrida por los autobuses para llegar desde cada una a todas las demás ZT y la distancia que recorrería un automóvil privado en esos desplazamientos	>
		TE_04	índice de devaneo	%	Cociente entre el tiempo de ruta en transporte público desde cada una a todas las demás ZT y el tiempo que recorrería un automóvil privado en esos desplazamientos	<
		TE_05	Pérdidas totales	horas	Pérdida total de tiempo observado por los movimientos generados en cada ZT [Σ (viajes públicos*(Tpub-Tpriv)]	<
		TE_06	Índice de Hora Punta	%	Cociente entre el tiempo de viaje en transporte público en flujo libre y el tiempo en flujo congestionado desde cada una a todas las demás zonas de transporte	<
		TE_07	Índice de transbordos	N de transbo.	Número medio de transbordos de los viajes con origen esta ZT	<

Según los resultados del indicador (**TD_01**) los mejores niveles dotacionales se encuentran situados en el núcleo de población de Málaga y en zonas costeras de alta densidad situadas, fundamentalmente los núcleos de la Costa occidental. Estos resultados concuerdan, en general, con una estructura de la red radial, y cuyo desarrollo se realiza principalmente con municipios de Fuengirola, Benalmádena y Torremolinos. Destacan también el desarrollo de la red hacia el NE, para dar servicio al Rincón de la Victoria.

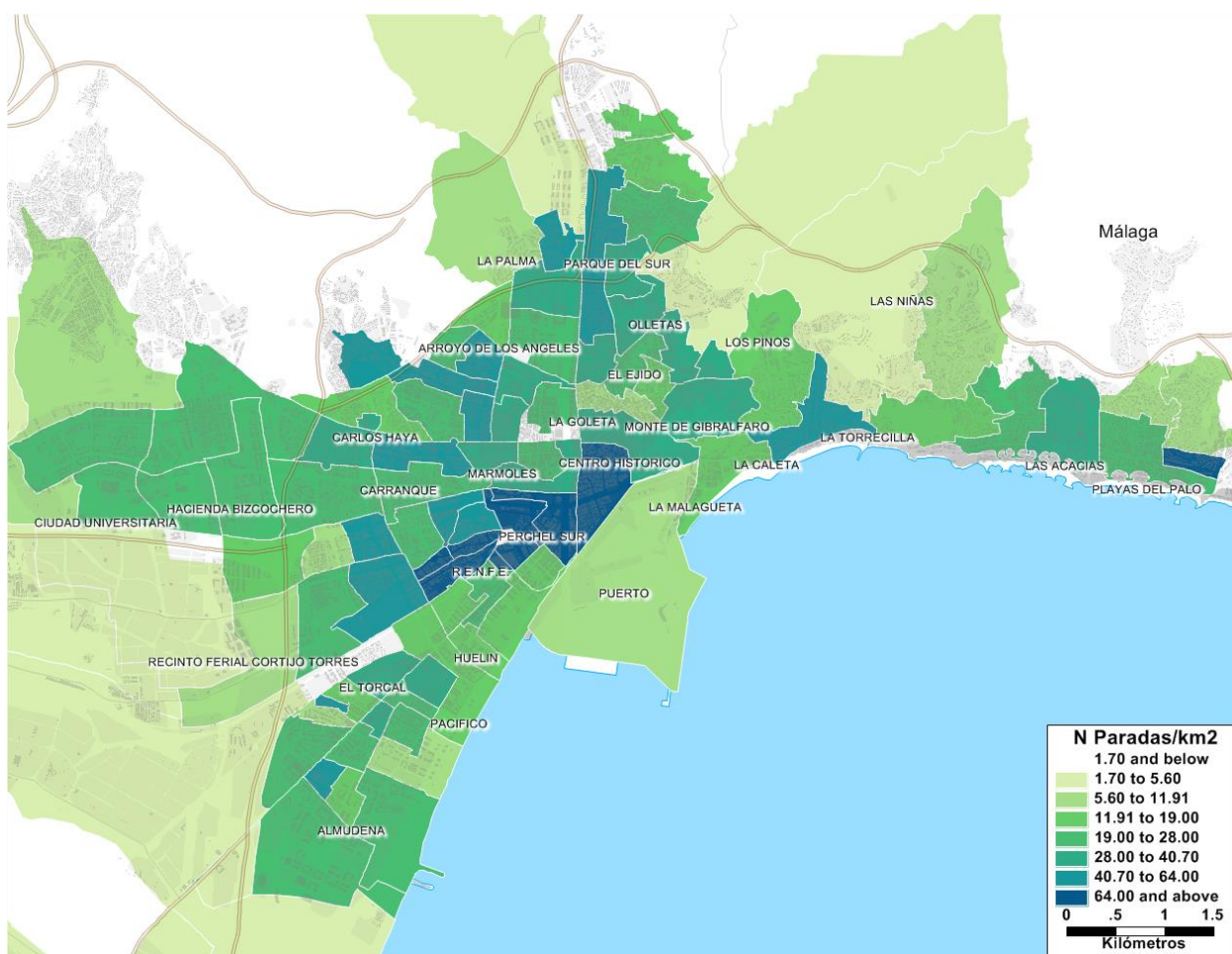
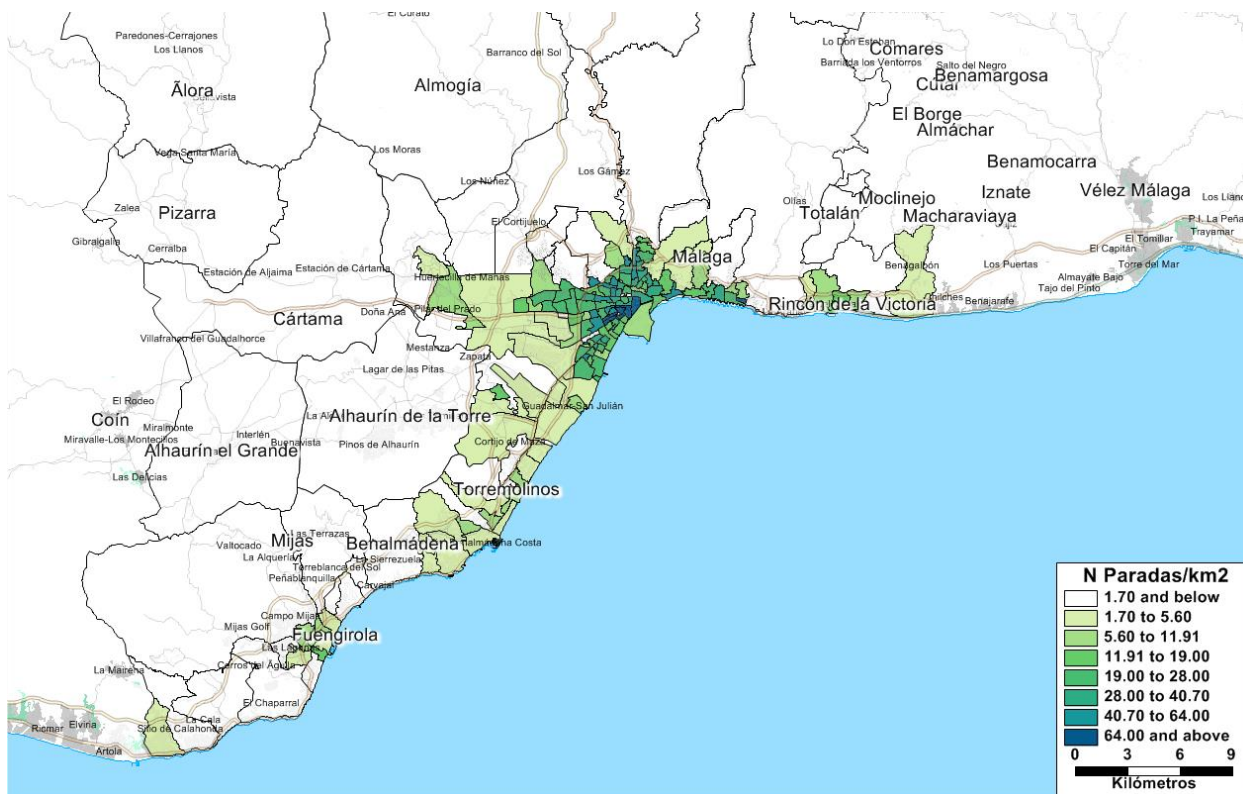


Ilustración 5-4 Indicador TD_01
 Fuente: Elaboración propia (Transcad)

El indicador (TD_02), mide la ocupación territorial de la red de transporte público en términos de km de líneas por km² de superficie. Cuanto mayor sea este valor, mayor será el desarrollo de la red en la zona

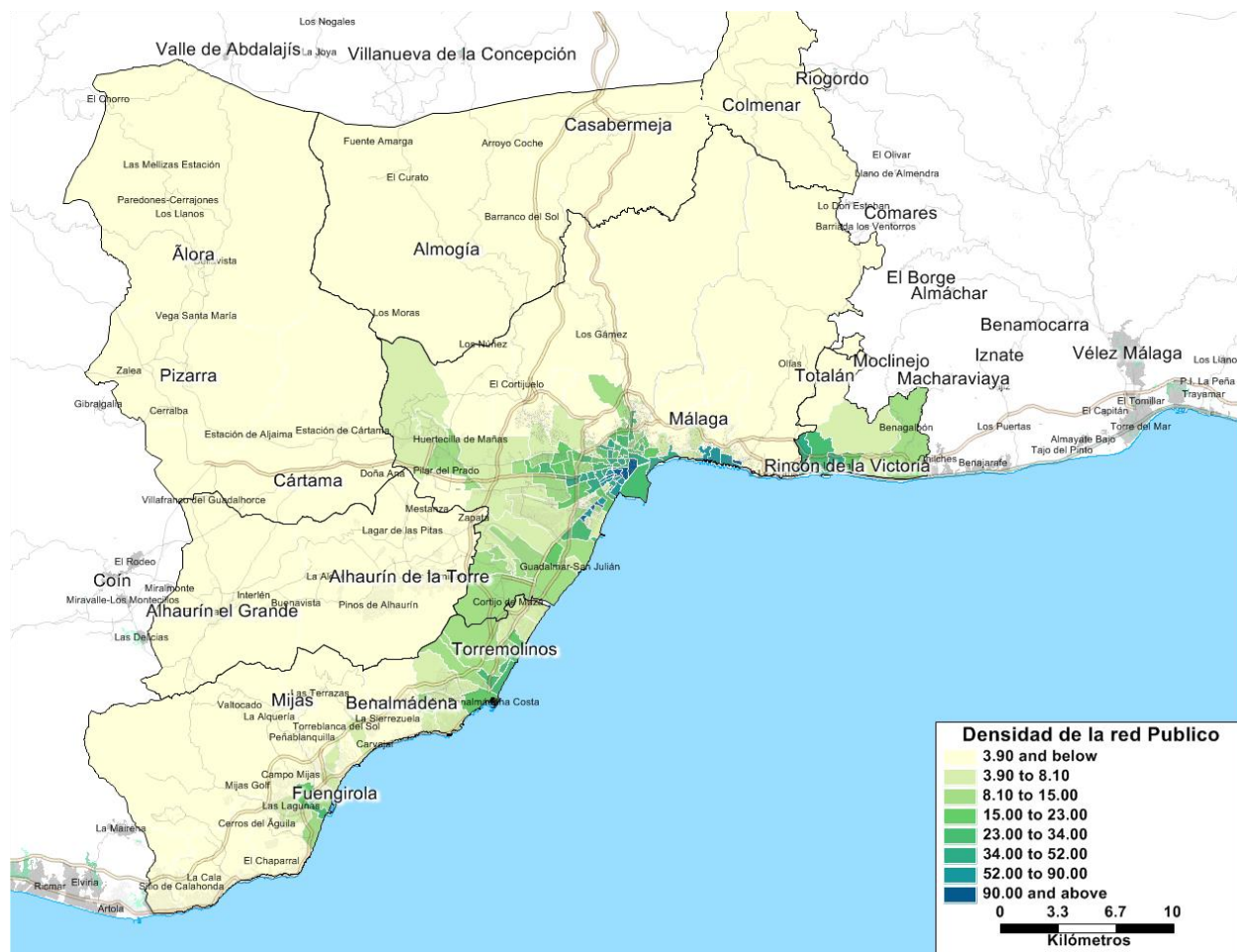


Ilustración 5-5 Indicador TD_02
Fuente: Elaboración propia (Transcad)

El indicador (**TE_03**) mide, para los viajes que se realizan en transporte público, el rodeo que dan los autobuses para ir desde la zona de transporte a la zona destino de los viajes, comparando esa distancia con la que se recorrería en coche o a pie; (distancia de viaje en vehículo privado/distancia de viaje en transporte público), de esta manera, se tiene una visión general de la eficacia de la red en distintas partes del ámbito de estudio; en ambas redes se utilizan los caminos mínimos entre los centros de gravedad ponderados de las ZT. Los valores cercanos a 1 representan una mayor eficacia de la red.

Los resultados muestran índices de rodeo muy altos en el Municipio de Alhaurín de la Torre y algunas zonas residenciales de la corona metropolitana del núcleo de Málaga de manera que, evidentemente, se encuentran bastante aislada del resto de la trama urbana. Los desplazamientos que muestran índices más altos se concentran en el núcleo de Málaga debido a la densidad de la red de transporte urbano, hecho que puede apreciarse en el indicador (**TD_02**)

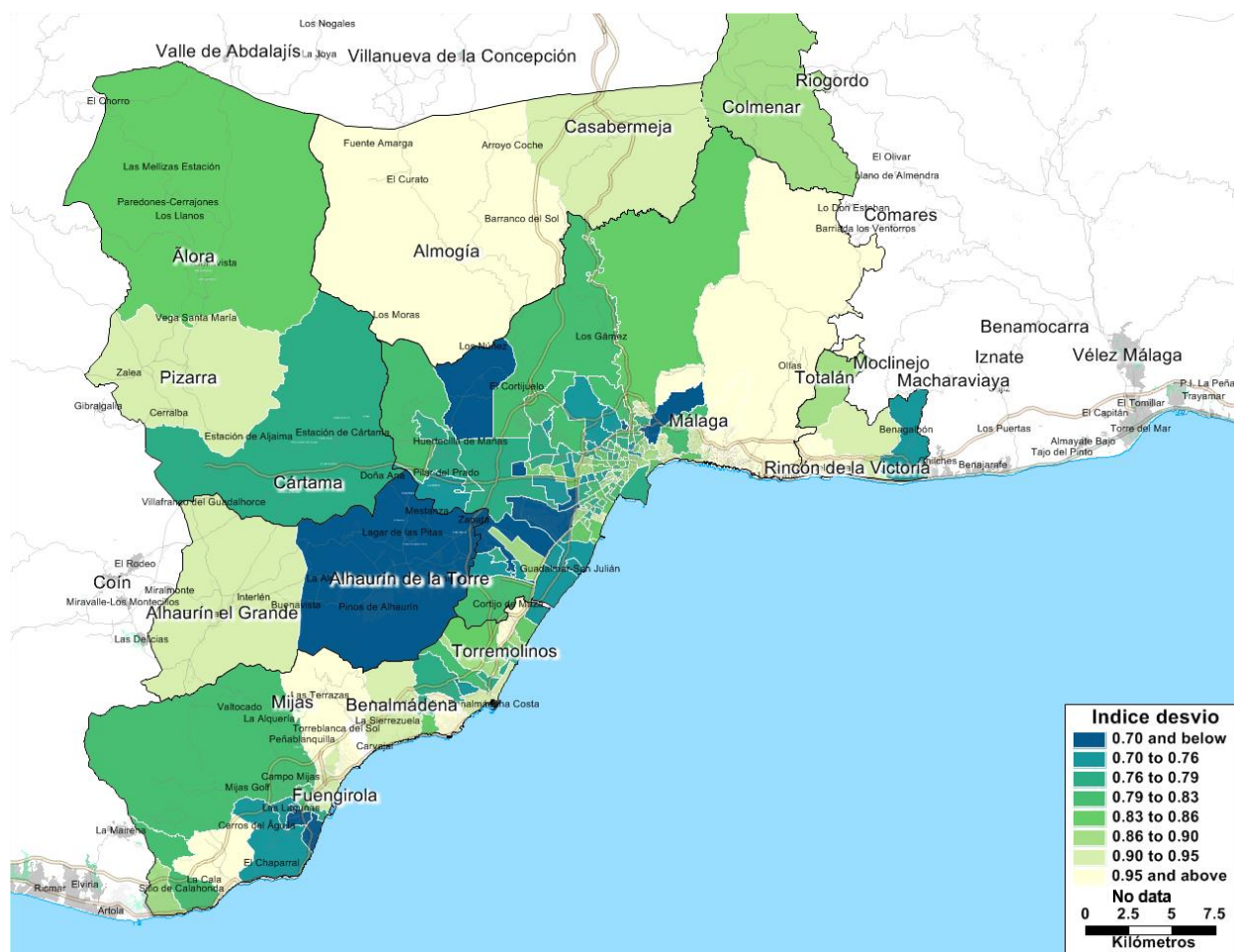


Ilustración 5-6. Indicador TE_03
 Fuente: Elaboración propia (Transcad)

Al igual que el indicador (TE_03), el índice de devaneo (TE_04) trata de medir la eficacia del transporte público frente al transporte privado, esta vez en términos de tiempo de viaje. Sin embargo, pueden distinguirse diferencias si se comparan ambos resultados, esto se debe que las líneas que dan servicio a zonas costeras cuentan con un mayor número de paradas en su recorrido y por tanto se produce un aumento del tiempo de viaje, frente a las líneas que dan servicio a zonas interiores como Álora, Almogía o Colmenar.

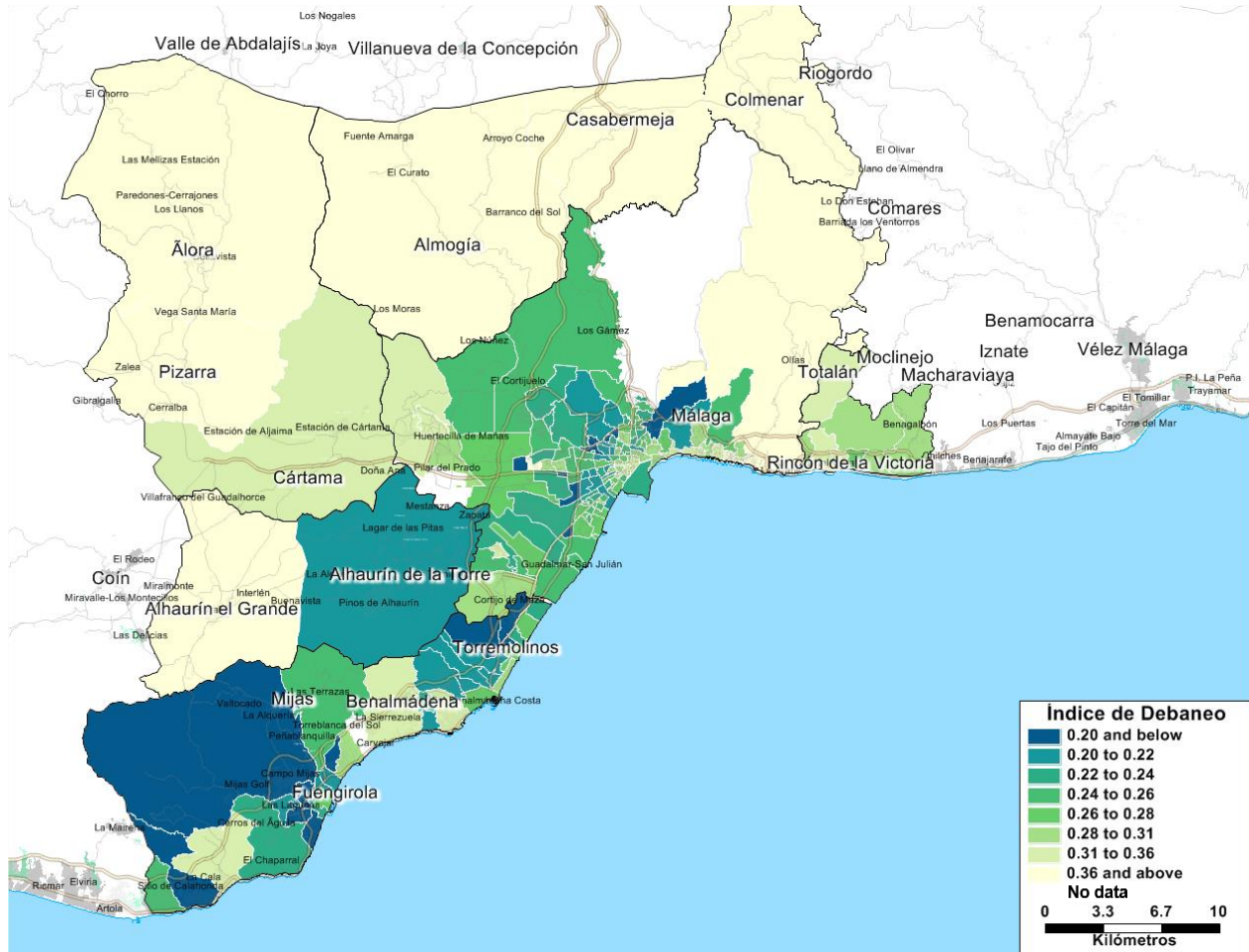


Ilustración 5-7 Indicador TE_04
Fuente: Elaboración propia (Transcad)

Pérdidas Totales Público

150.00 and below
150.00 to 280.00
280.00 to 430.00
430.00 to 600.00
600.00 to 800.00
800.00 to 1300.00
1300.00 to 5000.00
5000.00 and above

0 3.3 6.7 10
Kilómetros

Fuente: Elaboración propia (Transcad)

El indicador (TE_05) se obtiene como la relación entre el tiempo de viaje en hora punta (red congestionada) de los viajes realizados entre las 8:00 am y las 9:00 am frente al tiempo de viaje libre. Cuanto mayor sea el índice de hora punta, menor repercusión tendrá la congestión sobre los viajes en transporte público.

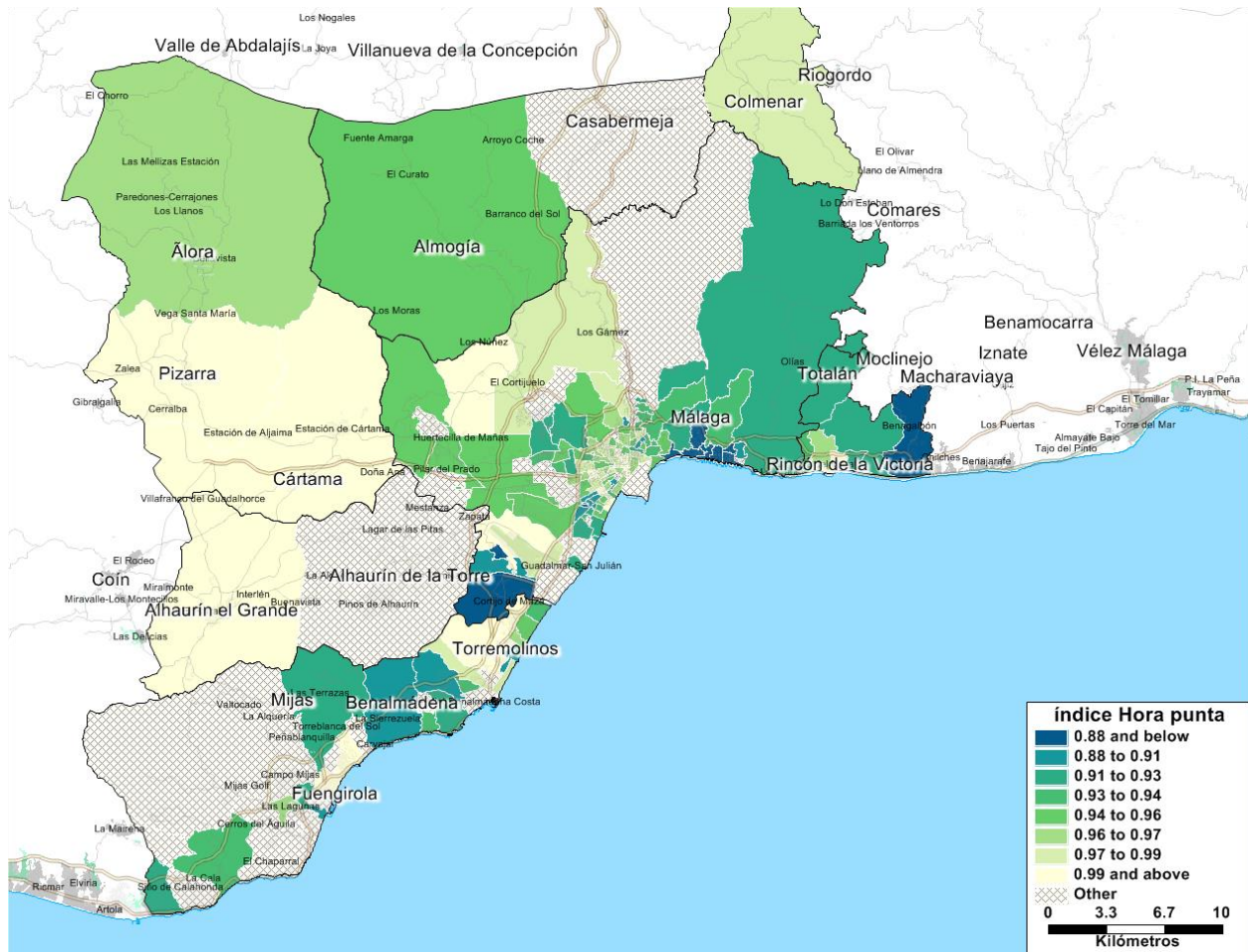


Ilustración 5-9. Indicador TE_06
Fuente: Elaboración propia (Transcad)

El indicador (**TE_07**) representa el número medio de etapas de los viajes realizados desde cada una de las ZT. Se puede observar la influencia de los corredores principales sobre la Costa Occidental frente a zonas con peores conexiones como el corredor del Alhaurín.

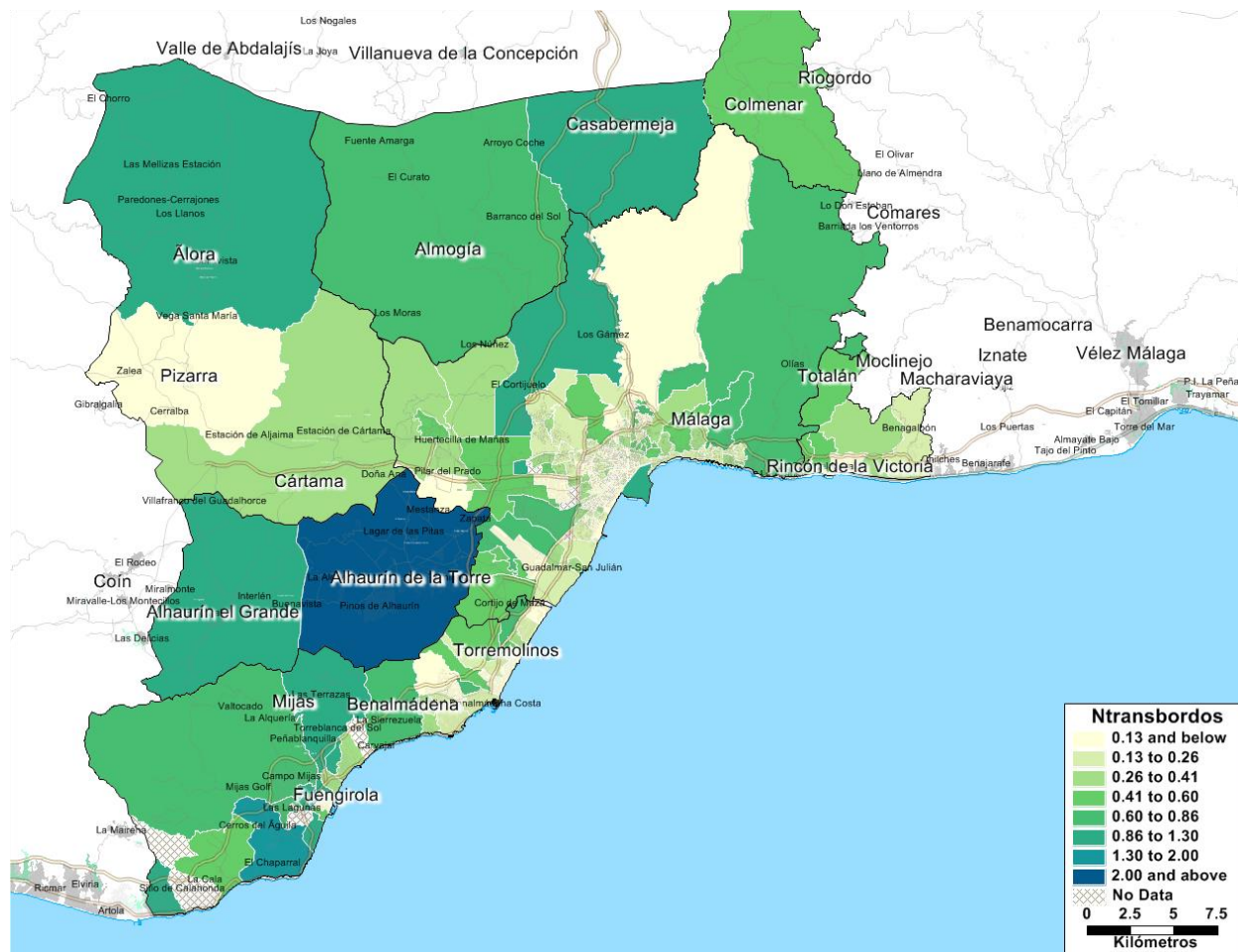


Ilustración 5-10 Indicador TE_07
Fuente: Elaboración propia (Transcad)

5.2 Propuestas

La oferta de transporte público se basa en:

- **La red de cercanías**, que cuenta con dos líneas C1 (Málaga – Fuengirola) y concentra la mayor parte de la oferta y la demanda de la red, y C2 (Málaga – Álora).
- **La red de autobuses Metropolitanos** que cubre los desplazamientos radiales y transversales del ámbito, compartiendo viario con el automóvil y viéndose, por tanto, penalizado por la congestión del mismo.

El análisis funcional de la red ha puesto de manifiesto la problemática siguiente:

Red de cercanías:

- Baja cobertura de población, ya que en muchos casos las paradas se ubican alejadas de los núcleos tradicionales, lo que implica un mayor tiempo de viaje y un coste adicional de acceso a la estación.

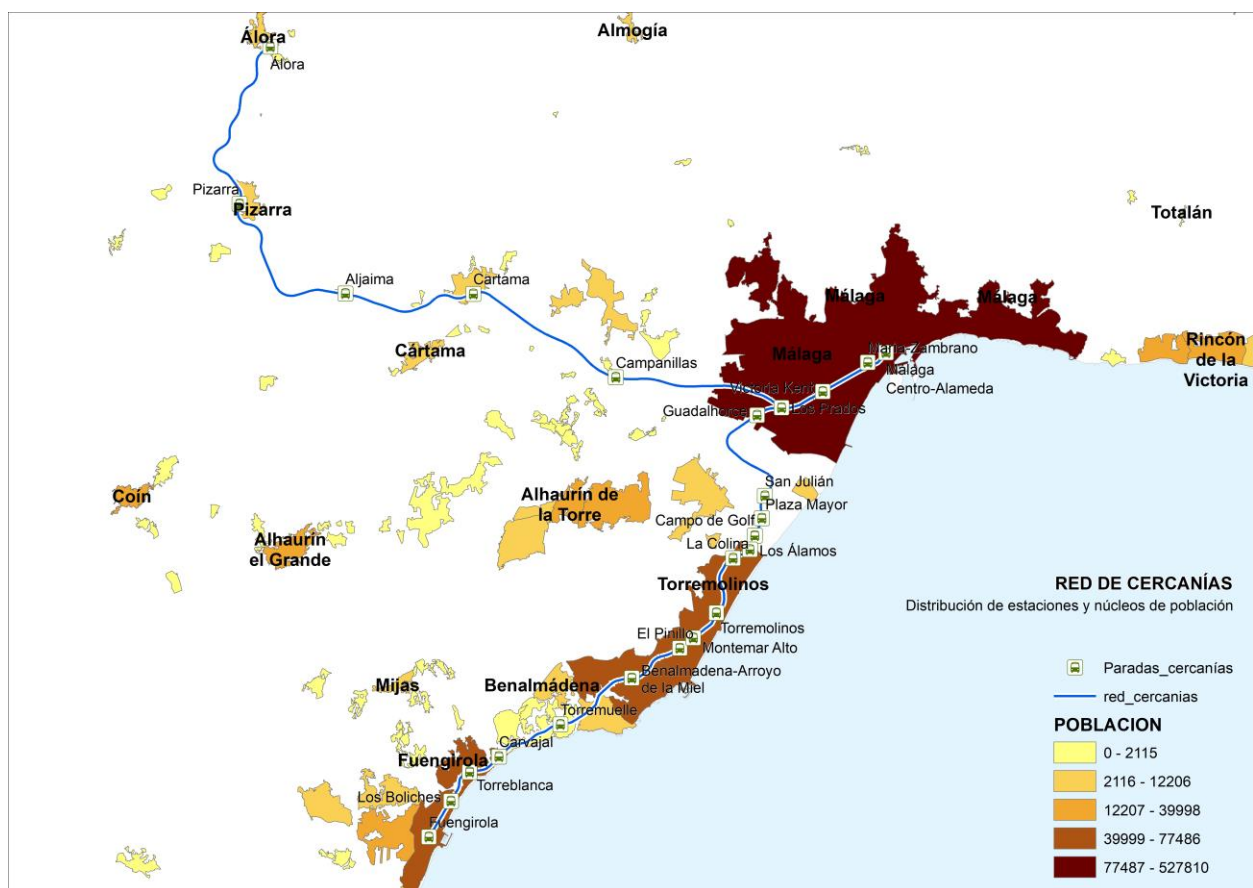


Ilustración 5-11. Distribución de la red de cercanías y reparto poblacional
Fuente: Elaboración propia

- Tiempos de viaje largos, por el alto número de paradas en el caso de la C1, en la que la distancia de 32 kilómetros cuenta con un tiempo de viaje de 46 minutos y entre Álora y Málaga, 37 kilómetros, se cubre en 40 minutos.

Red de autobuses:

- La configuración actual de la red muestra dificultades para cubrir los desplazamientos este-oeste del ámbito, de forma que se ven penalizados por los transbordos en su paso por Málaga, la mayoría de los cuales se realizan en la Estación María Zambrano. A modo de ejemplo, se han obtenido las rutas óptimas, partiendo desde núcleos urbanos de la zona oeste, con destino el núcleo urbano de El Palo, ubicado al oeste de la capital de provincia, todas las rutas posibles requieren de un transbordo intermedio (T), invitando a la utilización del automóvil.

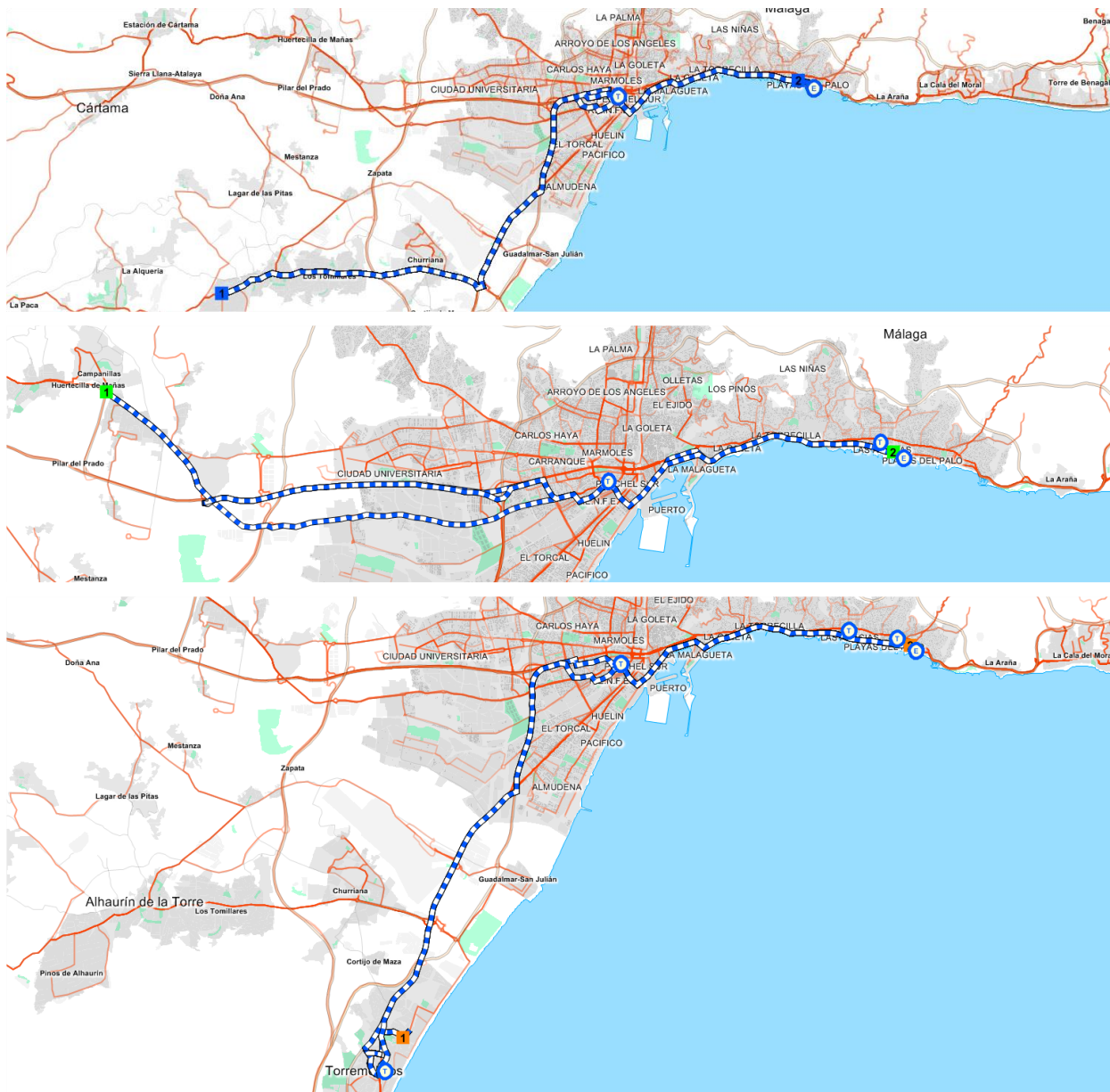


Ilustración 5-12. Obtención de rutas que cruzan el área metropolitana de oeste a este

- Líneas de autobús en competencia** con recorridos solapados en la zona del Rincón de la Victoria y en la zona de Casabermeja.

- **Escasez de plataformas reservadas.** En el núcleo de Málaga apenas se encuentran plataformas reservadas para el transporte público. En este sentido se ha realizado un análisis de los flujos de viaje en hora punta de mañana y la congestión del tráfico (como % de tiempo perdido frente a flujo libre), este análisis pondrá de manifiesto las vías que soportan mayor número de viajeros y soportan un mayor grado de congestión en HPM.



Ilustración 5-13. Identificación de los corredores con mayor flujo de pasajeros y mayor congestión de la red.
Fuente: Elaboración Propia (Transcad)

La identificación de estas vías o tramos de vía más utilizados, pone de manifiesto los potenciales candidatos para, de cara a posibles propuestas, el análisis o estudio de plataformas reservadas y actuaciones en este sentido.



Ilustración 5-14. Propuesta de plataformas reservadas.
Fuente: Elaboración Propia (Transcad)

Para analizar el grado de mejoría que supondría la implantación de plataformas reservadas en los ramales que soportan mayor flujo y mayor congestión, se ha realizado una asignación, imponiendo un tiempo de viaje en transporte público en flujo libre a estos corredores, devolviendo los siguientes resultados:

Variable	congestión 8am	Congestión 8am (+reservados)	dif
Km totales en transporte público	122532	122950	0,34%
Tiempo Total de viajes	163567	160543	-1,85%
Tiempo medio de viaje en vehículo	10,5	10,2	-2,86%

Solamente la incorporación 3 corredores (9 km en total), producen una mejora sustancial en el tiempo medio de viaje (-2,86%), además, con la reducción de tiempos resultado de incorporar estos corredores, se captan nuevos viajeros que en la situación actual irían a pie o vehículo privado.

- Ajuste de la oferta pública a la demanda privada:** Como norma general, la planificación de horarios de los servicios de transporte suele ser estar ajustada a la demanda, es decir, los operadores de transporte ajustan la frecuencia horaria de las líneas a la demanda a lo largo de la jornada.

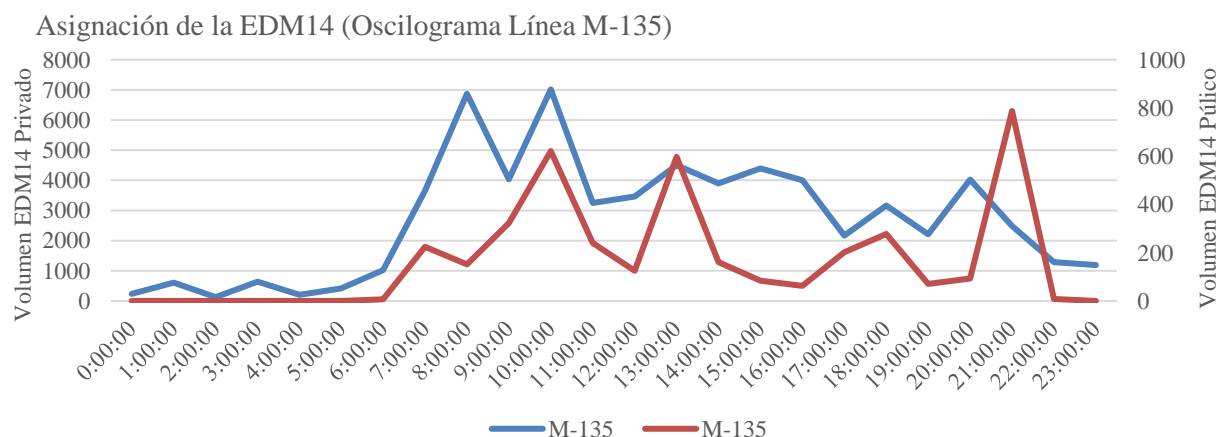
En este sentido, las frecuencias de paso de las líneas son una variable muy importante a la hora de fomentar el uso del transporte público frente al uso del vehículo privado. Gracias al modelo generado y a los datos de demanda por tramos horarios de la EDM14, es posible obtener el volumen de viajeros en cada una de las líneas por franjas horarias.

Se ha asignado la matriz de viajes en vehículo privado a la oferta de transporte público, de modo que es posible obtener los oscilogramas de carga de las líneas en la situación hipotética en que los viajes en vehículo privado se realizaran en transporte público, de esta forma, se puede analizar que rutas y en que franjas horarias se tendría mayor demanda y, por consiguiente, se podría optimizar las frecuencias de estas líneas para fomentar el reparto modal captando viajeros del modo privado

Este tipo de análisis podría ser utilizado para la planificación de horarios en nuevas rutas o para la reorganización de los horarios en rutas ya consolidadas.

Para ilustrar este tipo de análisis, se han analizado aquellas líneas que obtendrían un mayor volumen de viajeros captados.

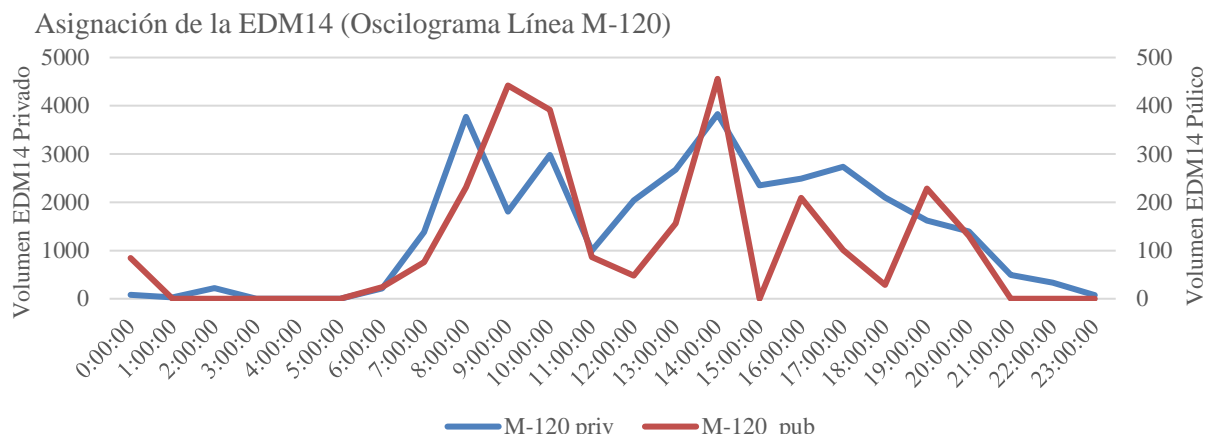
El oscilograma de carga de la línea M-135 muestra una distribución variable del volumen de pasajeros a lo largo del día, sin embargo, la oferta (horarios de salida del CTMAM) no se ajusta si quiera a la demanda de viajes en transporte público (en rojo). Tanto la asignación de viajes públicos como privado muestran tendencias similares, obteniéndose picos de carga en hora punta de mañana, medio día y tarde. En este caso, la solución propuesta pasaría por incrementar las frecuencias de salida en estos periodos.



Horarios para la línea M-135 (Fuente: CTMAM)

7:00 7:30 8:30 10:00 10:30 11:30 13:00 13:30 14:30 16:00 17:30 19:00 20:30 22:00

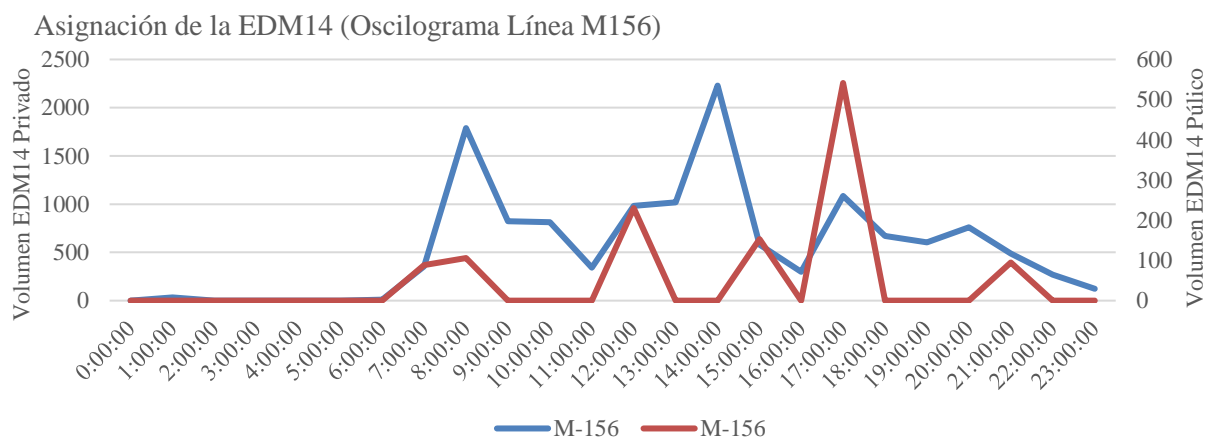
Algo similar ocurre, por ejemplo, en la línea M-120, cuya frecuencia de paso es constante y, por lo tanto, no se ajusta a la demanda de viajes.



Horarios para la línea M-135 (Fuente: CTMAM)

Frecuencia: 30 minutos 7:00 a 22:00

También puede fomentarse el uso del transporte público incluyendo nuevos servicios, un ejemplo se da en la línea M-156 que une el barrio de Las Lagunas con Cerros del Águila, cuenta con 4 servicios de ida. Podría fomentarse su uso si se incluyera algún servicio extra en la hora punta de mañana y mediodía.



Horarios para la línea M-156 (Fuente: CTMAM)

8:30 12:30 16:30 18:15

En el conjunto de la red:

- **Falta de coordinación entre modos.** Se ha detectado un importante grado de solapamiento de la red de interurbanos con la Red de Cercanías,
- Por último, se ha realizado un análisis comparativo entre la matriz de viajes en automóvil y la matriz de oferta (expediciones) de transporte público, teniendo en cuenta que el automóvil constituye el modo de transporte de mayor competencia del transporte público. Esta comparativa reflejará si la oferta de transporte público se adecua a la realidad de la movilidad en automóvil, teniendo en cuenta que es de este modo del que se puede captar demanda, y que constituye el campo sobre el que se debe actuar si se quiere cambiar el reparto modal del sistema de transportes actual



Viajes Privado	Corredor Alhaurines	Corredor de Guadalorce	Costa Occidental	Costa Oriental	Málaga	Norte
Corredor de los Alhaurines	-	1,0%	5,7%	0,2%	12,9%	0,0%
Corredor de Guadalorce	-	-	0,7%	0,1%	10,7%	0,1%
Costa Occidental	-	-	-	0,9%	48,7%	0,2%
Costa Oriental	-	-	-	-	15,5%	0,3%
Málaga	-	-	-	-	-	3,0%
Norte	-	-	-	-	-	-

Expediciones	Corredor Alhaurines	Corredor de Guadalorce	Costa Occidental	Costa Oriental	Málaga	Norte
Corredor de los Alhaurines	-	5,1%	1,7%	0,0%	20,3%	0,0%
Corredor de Guadalorce	-	-	0,0%	0,0%	18,6%	0,0%
Costa Occidental	-	-	-	0,0%	28,8%	0,0%
Costa Oriental	-	-	-	-	18,6%	0,0%
Málaga	-	-	-	-	-	6,8%
Norte	-	-	-	-	-	-

De este análisis se deduce claramente que existen desajustes en las relaciones entre Málaga y la Costa Occidental y la Costa Occidental con el Corredor de los Alhaurines en los que existe una oferta de transporte público inferior a la movilidad observada en automóvil. Por el contrario, en las relaciones de Málaga con las macrozonas de Costa Oriental, Corredor del Guadalorce y Norte y entre los corredores de Guadalorce y Alhaurines se produce una mayor concentración de oferta de transporte público respecto a la movilidad en automóvil.

En este sentido, todo indica que se debe valorar un incremento de la oferta en ambos movimientos, Costa Occidental – Málaga y Costa Occidental – Corredor de los Alhaurines, este último ya se vio, en el apartado 1.2 EDM 2014, que constituía el flujo más importante sin origen o destino Málaga y que se resolvía de forma general en automóvil.

ARCHIVOS ADJUNTOS

Junto con la memoria, se adjuntaN en CD-ROM todos los archivos necesarios para ejecutar el modelo en el entorno de Transcad, además de una serie de archivos que resultan útiles para futuros análisis.

0_Red	Contiene los archivos que forman la red de carreteras del modelo	
	<i>Red_Málaga.dbd</i>	Red de carreteras del modelo.
	<i>Net_Red_Malaga.net</i>	Network.
1_RouteSystem	Contiene los archivos que definen el modelo de transporte público	
	<i>GTFS_RS EMT_6.rts</i>	Modelo de transporte público.
	<i>Net_GTFS_RS.tnw</i>	Transit Network.
2_Zonificacion CTMAM		
	<i>00_Zonificacion.shp</i>	División en zonas de transporte del ámbito de estudio.
3_Matrices		
	<i>Transporte Publico Franjas EDM14.mtx</i>	Contiene los movimientos en transporte público entre zonas en franjas de 1 hora.
	<i>Transporte Privado Franjas EDM14.mtx</i>	Contiene los movimientos en transporte privado entre zonas en franjas de 1 hora.
	<i>Matrices de costes</i>	Contiene las matrices de costes (tiempos de viaje, transbordos, congestión) utilizadas para el cálculo de los indicadores
4_Capas_Aux		
	41_Administrativo población	
	<i>Censo nacional.shp</i>	Representa las áreas geográficas de los censos de población.
	<i>Admin_andalucía.shp</i>	Límites administrativos de Andalucía.
	<i>Admin_Malaga_mun.shp</i>	Límites administrativos del municipio de Málaga.
	<i>Encuadre BCN500_1.shp</i>	Área marítima del ámbito de estudio.
	<i>su02_1_nucleo_pol_prov.shp</i>	Núcleos poblacionales (áreas) de la provincia de Málaga.
	<i>su02_2_nucleo_pun_prov.shp</i>	Núcleos poblacionales (puntos) de la provincia de Málaga.
	<i>su04_manzana_prov.shp</i>	Manzanas de la provincia de Málaga.
	<i>su07_verde_urb_prov.shp</i>	Zonas verdes de la Provincia de Málaga
	<i>Edif_Málaga.shp</i>	Edificios.
	<i>da_cartografiaBarrioPolygon.shp</i>	Barrios del municipio de Málaga.
	42_Hídrico	
	<i>BTN100_0304S_EMBALSE.shp</i>	Lámina de agua de embalses.
	<i>hd01_1_rio.shp</i>	Ríos.
	43_Transporte	
	431_Google transit data feed	Archivos que componen el GTFS (antes de la importación).

432_Paradas Metropolitano

Paradas del transporte metropolitano en formato .shp.

433_Semaforos

Localización de los semáforos en el municipio de Málaga.

434_Cercanias

Red de cercanías en formato .shp.

5_Asignaciones

51_Publico

511_Skimm

Matrices de tiempos de desplazamiento entre centroides.

512_Pathfinder

Archivos de la asignación del transporte público.

52_Privado

521_Skimm

Matrices de tiempos de desplazamiento entre centroides.

522_Pathfinder

Archivos de la asignación del transporte privado.

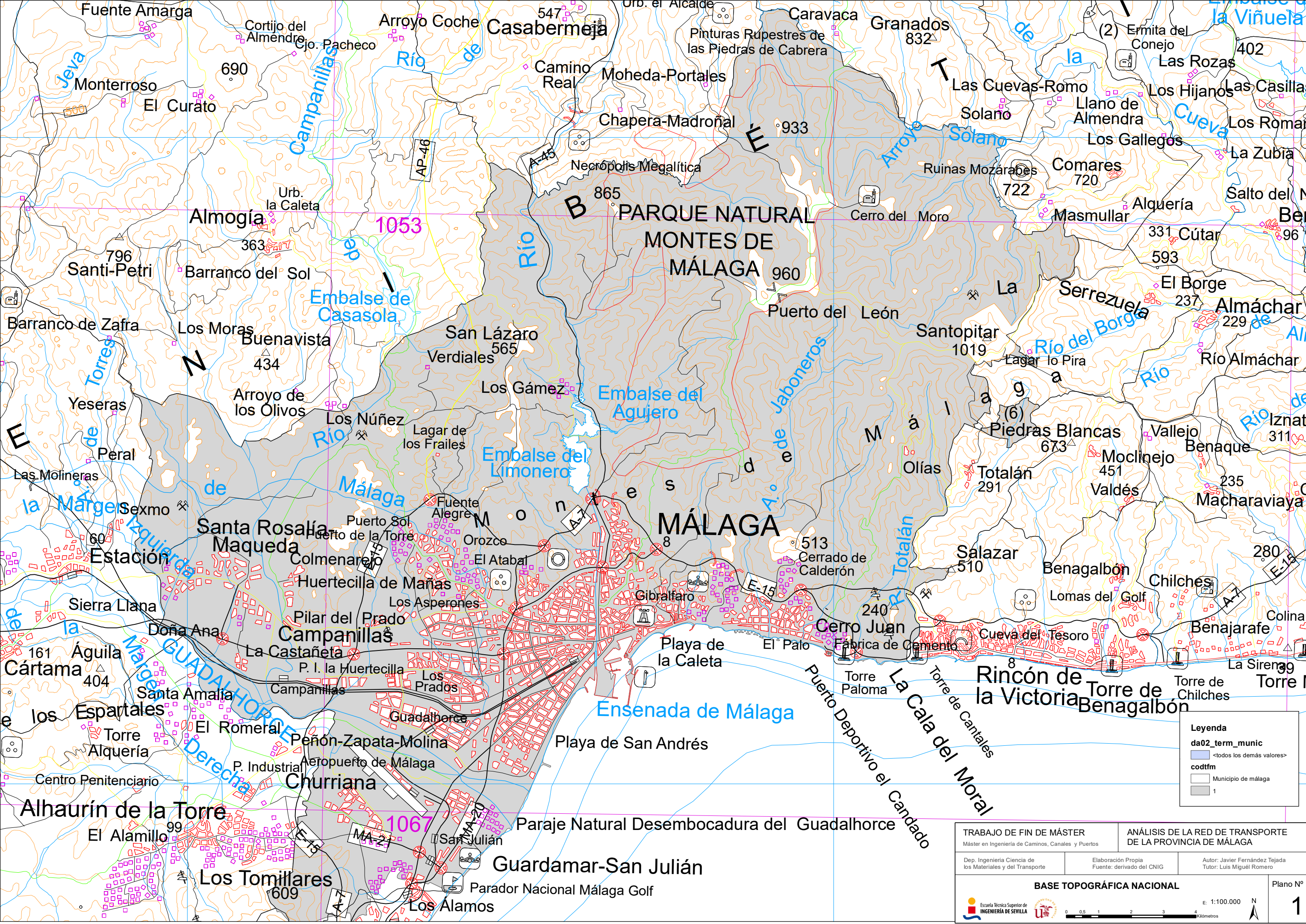
6_Tabla indicadores

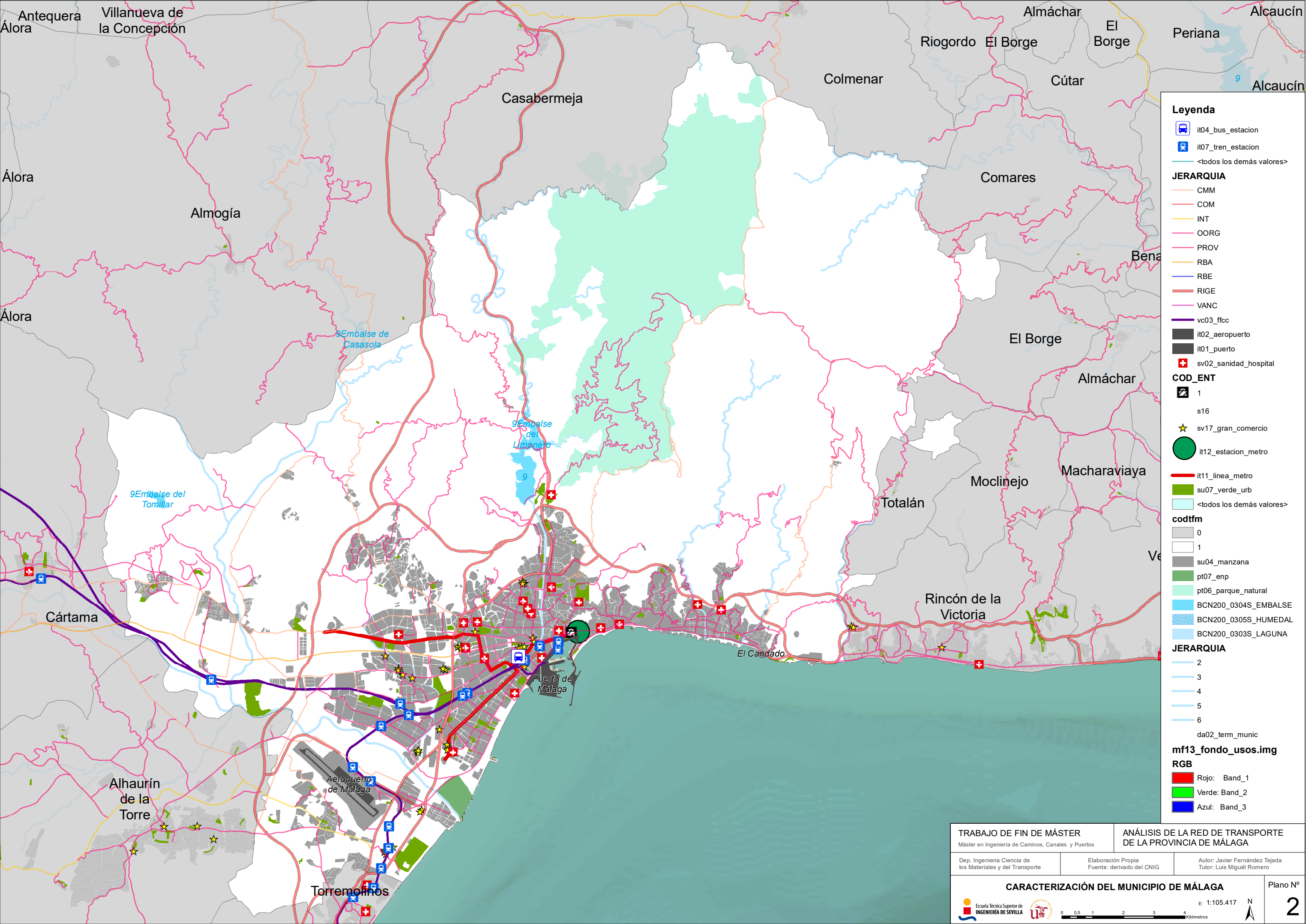
REFERENCIAS

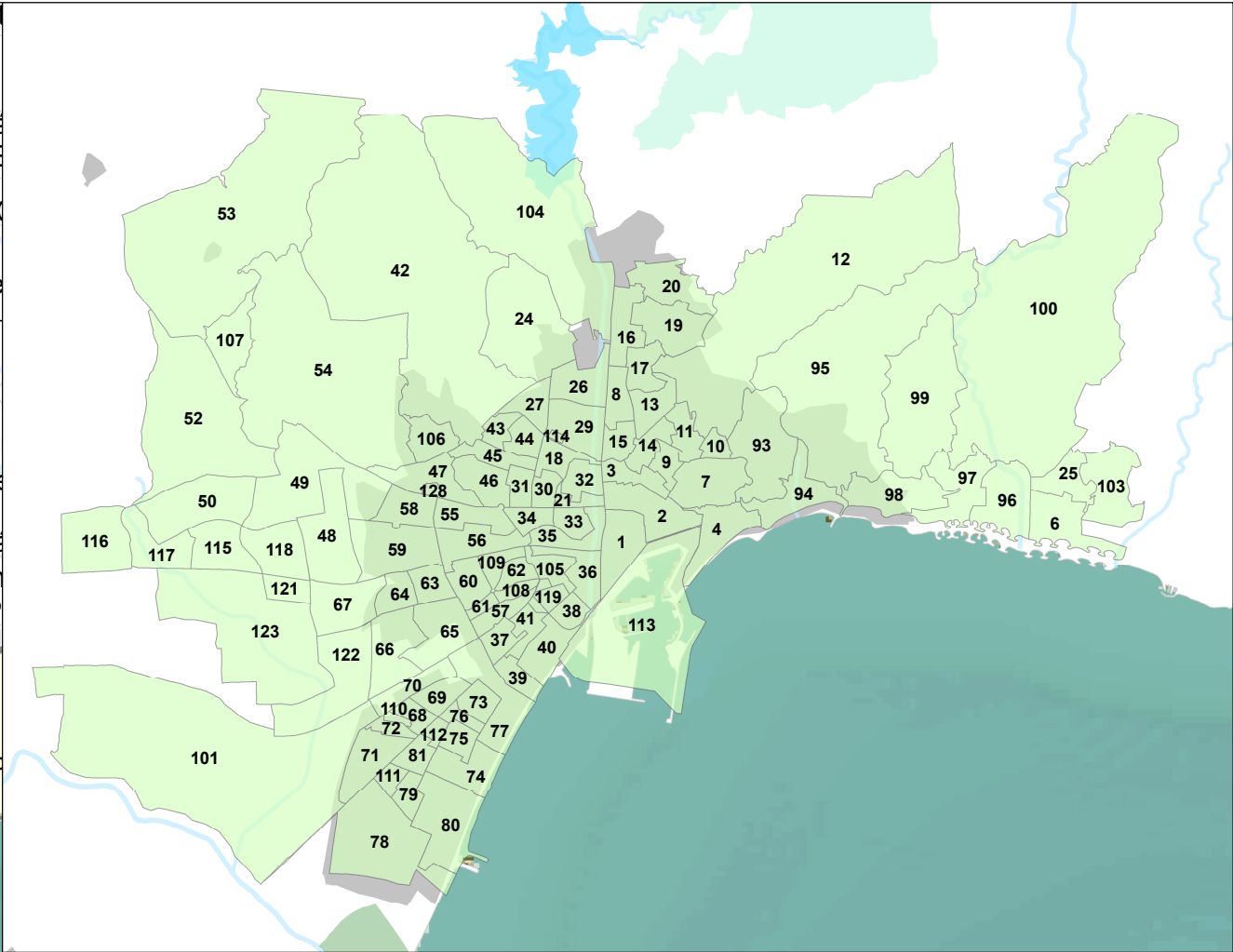
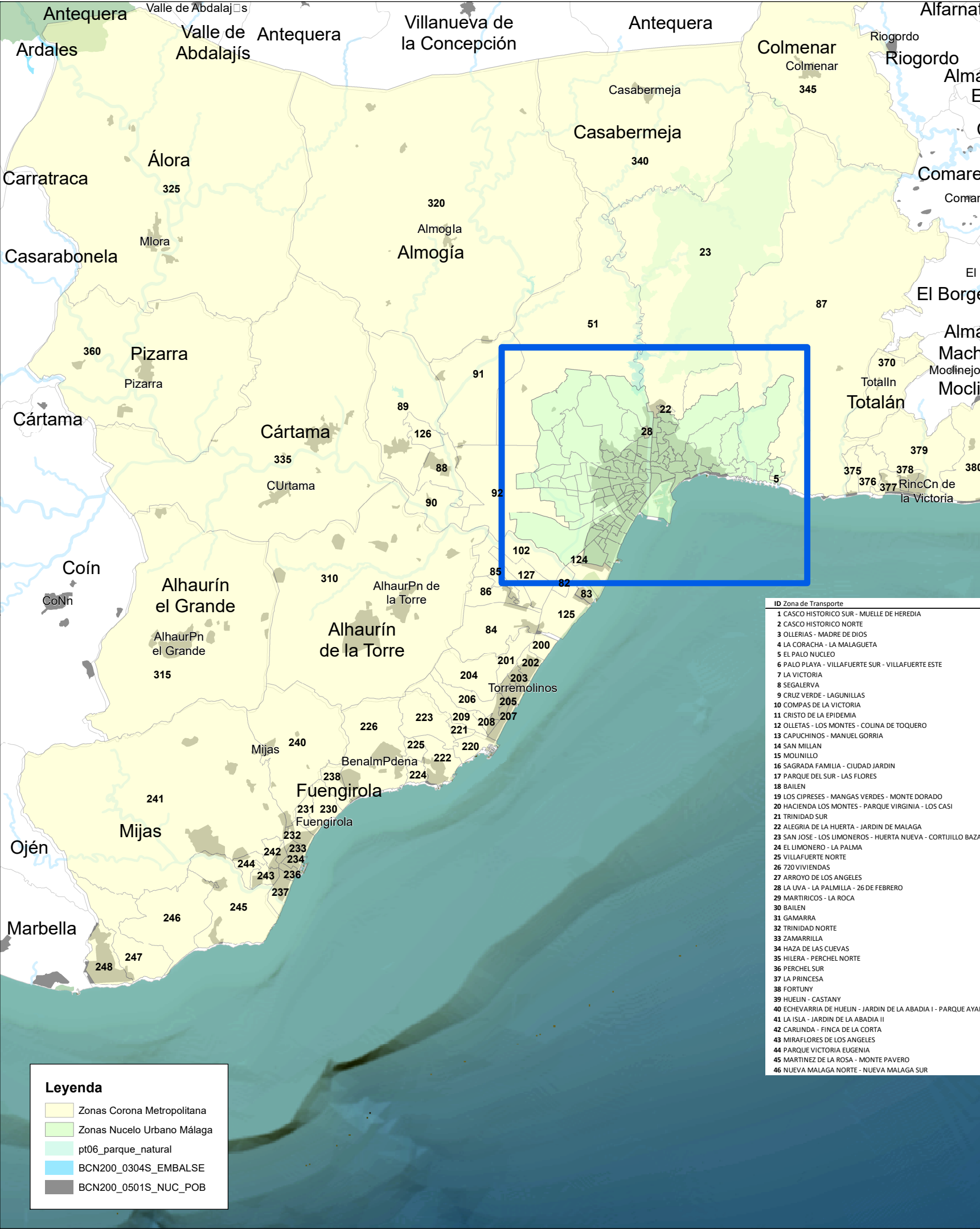
- [1] Ministerio de Fomento, «Centro Nacional de Información Geográfica,» 2012. [En línea]. Available: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [2] Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, «Datos Espaciales de Referencia de Andalucía,» [En línea]. Available: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [3] Ayuntamiento de Málaga, «Catálogo de Datos Abiertos de Ayuntamiento de Málaga,» [En línea]. Available: <http://www.malaga.es/gobiernoabierto/datosabiertos/catalogodatos>.
- [4] OpenStreetMap, «Overpass turbo,» [En línea]. Available: <https://overpass-turbo.eu/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [5] CTMA, «Portal de datos abiertos de la Red de Transporte Metropolitano de Andalucía,» API Restful, [En línea]. Available: <http://api.ctan.es/doc/>. [Último acceso: Noviembre 2019].
- [6] Google, «Google Transit Data Feed,» [En línea]. Available: <https://code.google.com/archive/p/googletransitdatafeed/wikis/PublicFeeds.wiki>. [Último acceso: Noviembre 2019].
- [7] Dirección General de Carreteras; Ministerio del Interior, «Tráfico DGT,» [En línea]. Available: <http://infocar.dgt.es/etraffic/>. [Último acceso: octubre 2019].
- [8] Ministerio de Fomento; Dirección General de Programación Económica y Presupuestos, «Anuario estadístico 2017,» 2019.
- [9] César Núñez, Marcela Muniziaga, Antonio Gschwender, «Cálculo de indicadores de calidad del servicio del sistema de transporte público de Santiago a partir de datos pasivos,» Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- [10] J.-P. Rodrigue, The geography of Transport Systems, New York: Routledge, 2017.
- [11] Consorcio de Transportes Metropolitanos del Área de Málaga, «Plan de Transporte Metropolitano del Área de Málaga,» Málaga, 2013.

PLANOS ADJUNTOS

Plano 1	Base Topográfica Nacional
Plano 2	Caracterización del entorno (equipamientos)
Plano 3	Zonas de transporte
Plano 4	Caracterización de la red de carreteras en el entorno de Transcad
Plano 5	Asignación viajes privado HPM
Plano 6	Caracterización de la red de transporte urbano (EMT) en el entorno de Transcad
Plano 7	Caracterización de la red de transporte interurbano (CTMAM) en el entorno de Transcad
Plano 8	Asignación de viajes en transporte público de la EDM14 en HPM (Subidas y bajadas totales en paradas)
Plano 9	Asignación de viajes en transporte público de la EDM14 en HPM (volumen total sobre arcos de la red)







ID Zona de Transporte
1 CASCO HISTORICO SUR - MUELLE DE HEREDIA
2 CASCO HISTORICO NORTE
3 OLLERIAS - MADRE DE DIOS
4 LA CORACHA - LA MALAGUETA
5 EL PALO NUCLEO
6 PALO PLAYA - VILLAFUERTE SUR - VILLAFUERTE ESTE
7 LA VICTORIA
8 SEGALVERA
9 CRUZ VERDE - LAGUNILLAS
10 COMPAS DE LA VICTORIA
11 CRISTO DE LA EPIDEMIA
12 OLLETAS - LOS MONTES - COLINA DE TOQUERO
13 CAPUCHINOS - MANUEL GORRIA
14 SAN MILLAN
15 MOUINILLO
16 SAGRADA FAMILIA - CIUDAD JARDIN
17 PARQUE DEL SUR - LAS FLORES
18 BAILEN
19 LOS CIPRESSES - MANGAS VERDES - MONTE DORADO
20 HACIENDA LOS MONTES - PARQUE VIRGINIA - LOS CASI
21 TRINIDAD SUR
22 ALEGRIA DE LA HUERTA - JARDIN DE MALAGA
23 SAN JOSE - LOS LIMONEROS - HUERTA NUEVA - CORTUJILLO BAZAN - MONTES
24 EL LIMONERO - LA PALMA
25 VILLAFUERTE NORTE
26 720 VIVIENDAS
27 ARROYO DE LOS ANGELES
28 LA UVA - LA PALMILLA - 26 DE FEBRERO
29 MARTIRICOS - LA ROCA
30 BAILEN
31 GAMARRA
32 TRINIDAD NORTE
33 ZAMARRILLA
34 HAZA DE LAS CUEVAS
35 HILERA - PERCHEL NORTE
36 PERCHEL SUR
37 LA PRINCESA
38 FORTUNY
39 HUELIN - CASTANY
40 ECHEVARRIA DE HUELIN - JARDIN DE LA ABADIA I - PARQUE AYALA
41 LA ISLA - JARDIN DE LA ABADIA II
42 CARLINDA - FINCA DE LA CORTA
43 MIRAFLORES DE LOS ANGELES
44 PARQUE VICTORIA EUGENIA
45 MARTINEZ DE LA ROSA - MONTE PAVERO
46 NUEVA MALAGA NORTE - NUEVA MALAGA SUR

ID Zona de Transporte
47 SAN MARTIN
48 HACIENDA CAPITAN
49 LA COLONIA - LA PALMA
50 EL CONSUL
51 EL LIMONERO - CERRO LANZA - PARTIDO DE VERDIALES - PUERTO SOL
52 SANTA ISABEL - EL TOMILLAR - EL CONSUL
53 FUENTE ALEGRE - MORILLAS
54 FINCA CABELLO - EL ATABAL
55 PADRE MONDEJAR
56 CARRANQUE OESTE - CARRANQUE ESTE
57 LA UNION
58 CAMINO DE ANTEQUERA
59 LA BARRIGUILLA - PORTADA ALTA
60 GARCIA GRANA - SANTA JULIA
61 SANTA MARTA
62 LOS TILOS NORTE
63 LOS CORAZONES
64 SANTA CRISTINA
65 LA ASUNCION
66 TIRO DE PICHON
67 CORTUJO ALTO
68 VISTAFRANCA
69 EL TORCAL - SAN CARLOS - GAUCIN - EUROPA
70 SAN ANDRES - DOS HERMANAS - BARCELO
71 BONAIRE - VIRGEN DE BELEN
72 LA LUZ SUR
73 GIRON
74 SANTA PAULA
75 PARQUE MEDITERRANEO
76 LAS DELICIAS
77 TABACALERA
78 MAINAKE
79 PUERTA BLANCA Y MAINAKE
80 TORRES DEL RÍO
81 LA PAZ
82 SAN JULIAN
83 GUADALMAR
84 MAZA OLIVARES
85 LA NORIA
86 CHURRIANA (NUEVA)
87 OLIAS-JARAZMIN-LA ARAÑA-EL CANDADO-LA PELUSA
88 CAMPANILLAS
89 SANTA ROSALIA - MAQUEDA
90 LAS CASTAÑETAS

ID Zona de Transporte
91 COLMENAREJO, FRESNEDA Y DI
92 LOS PRADOS - HUERTECILLA MAÑA Y ASPERON - LOS ASPERONES - EL TARAJAL - EL VISO
93 LIMONAR OESTE
94 LIMONAR COSTA
95 LIMONAR ESTE
96 PEDREGALEJO NUCLEO - PEDREGALEJO PLAYA
97 HACIENDA PAREDES - EL POLVORIN
98 LIMONAR ESTE - CERRADO DE CALDERON
99 CERRADO DE CALDERON
100 LAS MOSCA - SAN ANTON
101 SAN ANDRES 2.FASE - INDUSTRIAL GUADALHORCE
102 CASCO HISTORICO DE CHIRRIANA - SAN ISIDRO
103 MIRAFLORES DEL PALO - LAS CUEVAS
104 LA VIRREINA
105 LA AURORA
106 GRANJA SUAREZ
107 LOS TOMILLARES - MORALES
108 LOS TILOS SUR
109 CARRANQUE SUR
110 LA LUZ NORTE
111 PUERTA BLANCA Y MAINAKE NORTE
112 SIXTO
113 EL PUERTO
114 HOSPITAL MATERNO
115 TEATINOS OESTE
116 EL TARAJAL
117 EL VISO NORTE
118 TEATINOS ESTE
119 ESTACION DE RENFE
120 ESTACION DE AUTOBUSES
121 HUERTA DEL CORREO
122 CORTUJO DE TORRES
123 EL VISO
124 LA CONCHA DE MÁLAGA
125 VEGA DE ORO - LOS CHOCALES
126 PARQUE TECNOLÓGICO DE ANDALUCIA
127 AEROPUERTO
128 HOSPITAL CARLOS HAYA
200 Arrajanal
201 Torremolinos-Cortijo de Maza
202 Torremolinos La Colina
203 Torremolinos El Corte Ingles
204 Torremolinos Interior
205 Torremolinos

ID Zona de Transporte
206 Torremolinos Pico Palomas
207 Torremolinos La Carihuela
208 Torremolinos El Pinillo
209 Torremolinos Arroyo de la Miel
220 Arroyo de la Miel-Benalmádena Costa
221 Arroyo de la Miel-Benalmádena Interior
222 Arroyo de la Miel-Benalmádena Norte
223 Torquemada este
224 Torrequebrada
225 Torrequebrada Interior
226 Benalmádena
230 Fuengirola Torreblanca
231 Fuengirola Torreblanca Oeste
232 Fuengirola Los Pacos
233 Fuengirola Urb Montebello
234 Fuengirola
235 Mijas Costa
236 Fuengirola Biopark
237 Fuengirola Urb Prado Marina
238 Fuengirola Los Boliches
240 Las Terrazas-Lomas de Mijas-Torreblanca del Sol
241 Mijas-La Alquerica-mijas Golf
242 Campo Mijas
243 Las Lagunas Sur
244 Las Lagunas Norte
245 El Chaparral-Cerros del Águila
246 La Cala
247 Sitio de calahonda Este
248 Sitio de Calahonda
310 Alahurín de la torre
315 Alahurín el Grande
320 Almogía
325 Álora
335 Cártama-Estación de Cártama
340 CasaBermeja
345 Colmenar
360 Pizarra
370 Totalán
375 La Cala del Moral Oeste
376 La cala del Moral
377 Rincón de la Victoria Costa
378 Rincón de la Victoria Interior
379 Rincón de la victoria-Urb. Parque Vicotira
380 Benagalbón

Leyenda

- Zonas Corona Metropolitana
- Zonas Nucelo Urbano Málaga
- pt06_parque_natural
- BCN200_0304S_EMBALSE
- BCN200_0501S_NUC_POB

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

ANÁLISIS DE LA RED DE TRANSPORTE DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA

Dep. Ingeniería Ciencia de los Materiales y del Transporte

Elaboración Propia Fuente: derivado del CNIG

Autor: Javier Fernández Tejada Tutor: Luis Miguel Romero

ZONAS DE TRANSPORTE DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

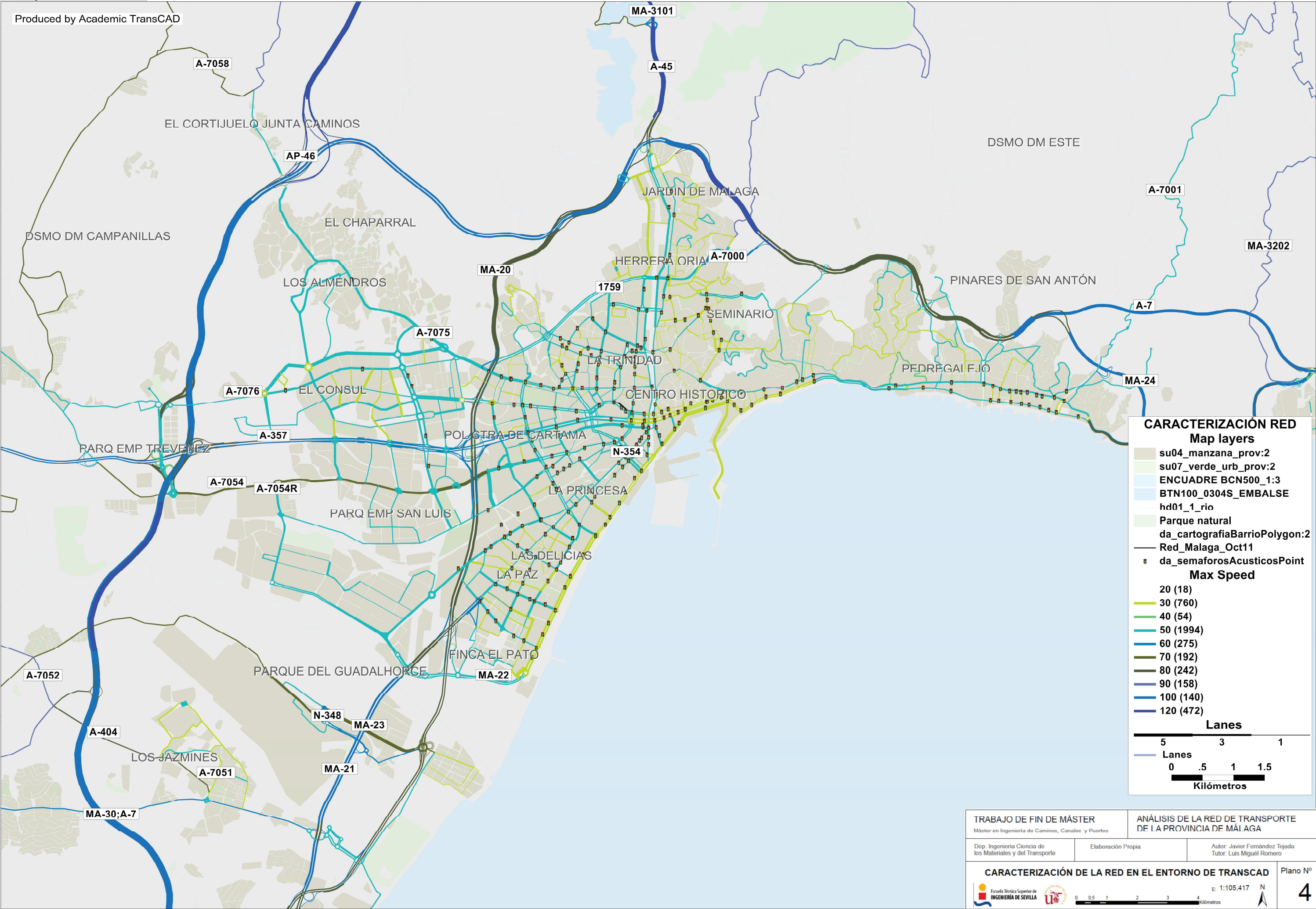


E: 1:215.570



Plano Nº

3



CARACTERIZACIÓN RED

Map layers

su04_manzana_prov:2

su07_verde_urb_prov:2

ENCUADRE BCN500_1:3

BTN100_0304S_EMBALSE

hd01_1_rio

Parque natural

da_cartografiaBarrioPolygon:2

Red_Malaga_Oct11

da_semaforosAcusticosPoint

Max Speed

20 (18)

30 (760)

40 (54)

50 (1994)

60 (275)

70 (192)

80 (242)

90 (158)

100 (140)

120 (472)

Lanes

5

3

1

Lanes

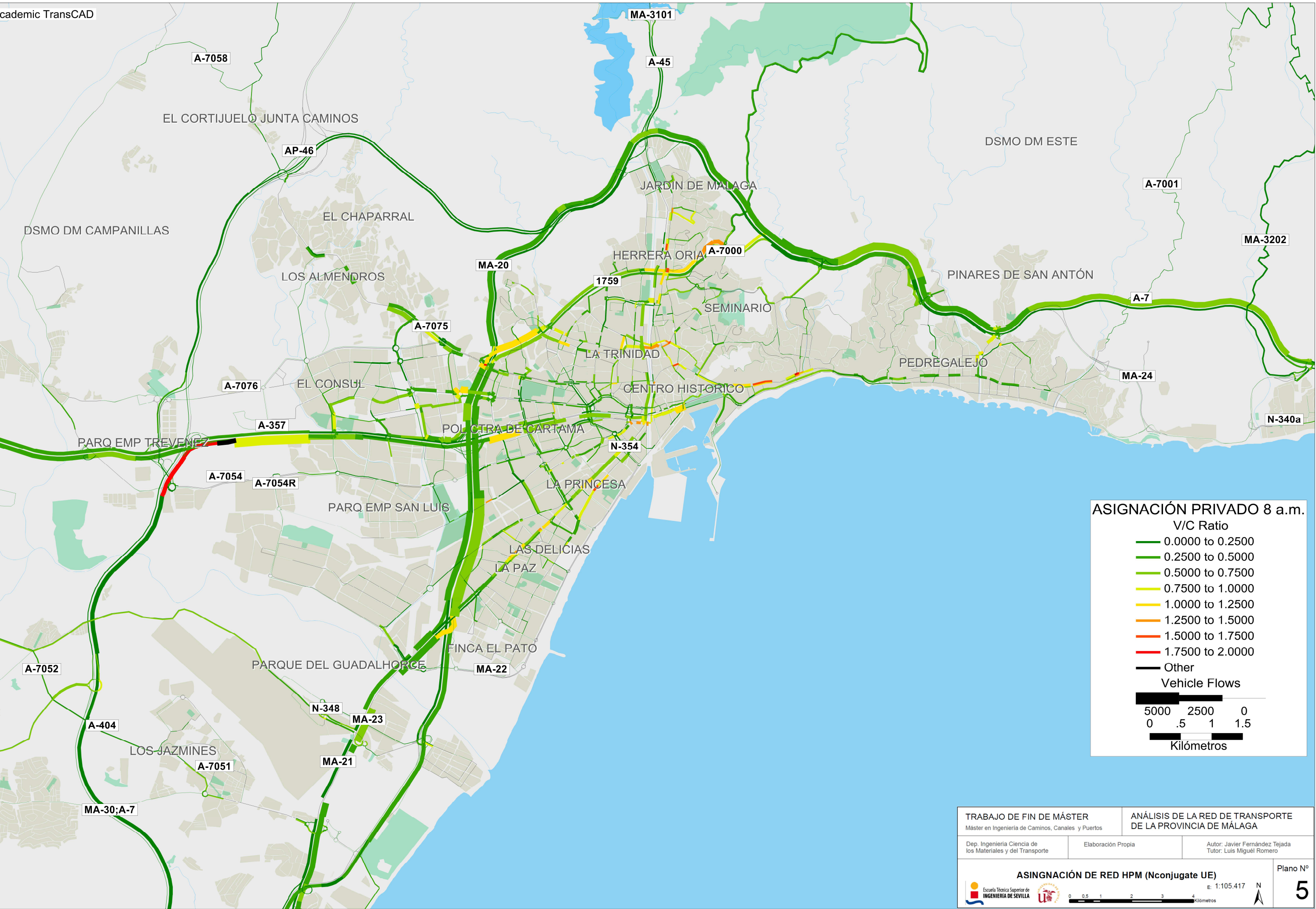
0

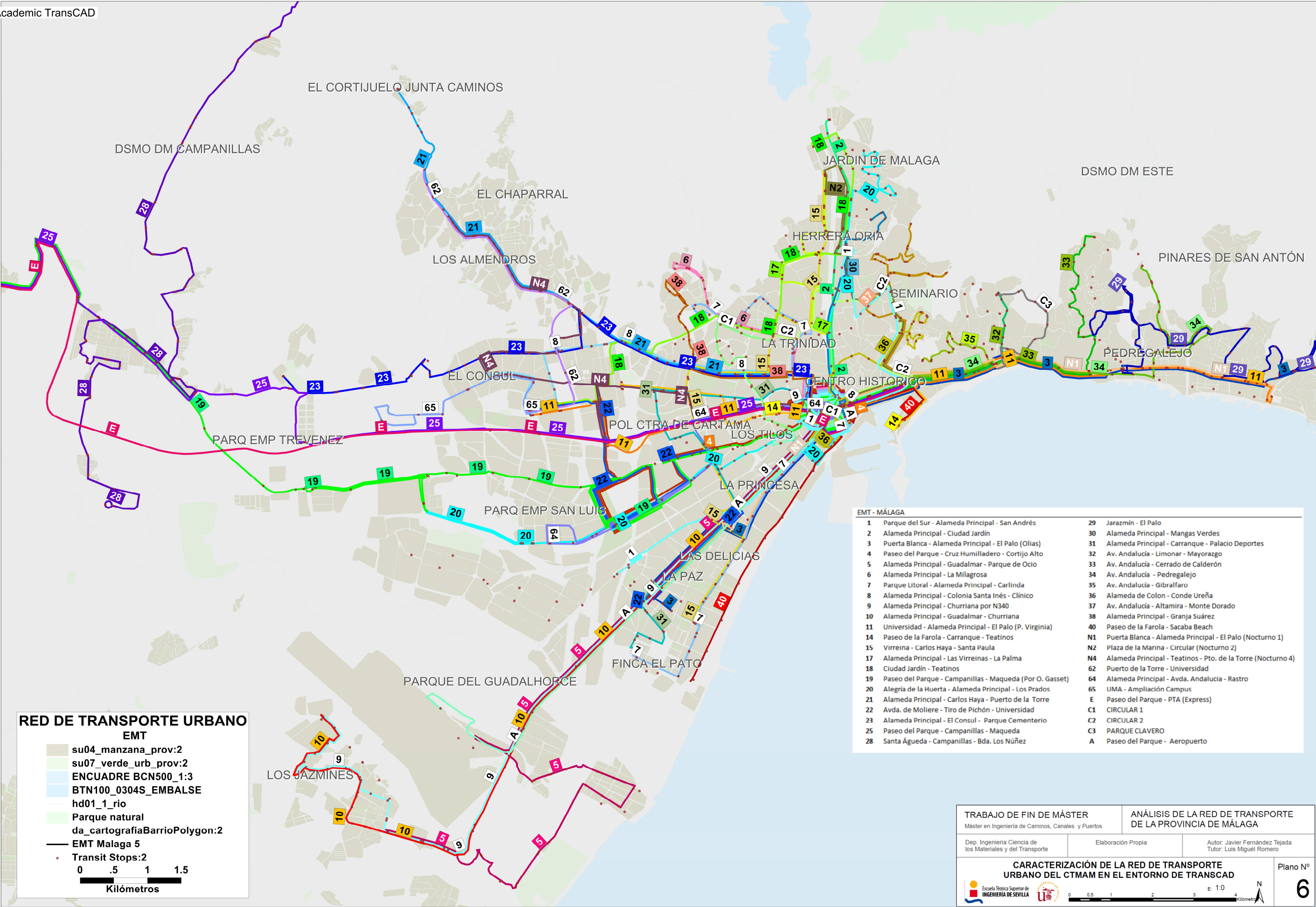
.5

1

1.5

Kilómetros





RED DE TRANSPORTE URBANO

EMT

- su04_manzana_prov:2
- su07_verde_urb_prov:2
- ENCUADRE BCN500_1:3
- BTN100_0304S_EMBALSE
- hd01_1_rio
- Parque natural
- da_cartografiaBarrioPolygon:2
- EMT Malaga 5
- Transit Stops:2

0 .5 1 1.5
Kilómetros

EMT - MÁLAGA	
1	Parque del Sur - Alameda Principal - San Andrés
2	Alameda Principal - Ciudad Jardín
3	Puerta Blanca - Alameda Principal - El Palo (Olias)
4	Paseo del Parque - Cruz Humilladero - Cortijo Alto
5	Alameda Principal - Guadalmar - Parque de Ocio
6	Alameda Principal - La Milagrosa
7	Parque Litoral - Alameda Principal - Carlinda
8	Alameda Principal - Colonia Santa Inés - Clínico
9	Alameda Principal - Churriana por N340
10	Alameda Principal - Guadalmar - Churriana
11	Universidad - Alameda Principal - El Palo (P. Virginia)
14	Paseo de la Farola - Carranque - Teatinos
15	Virreina - Carlos Haya - Santa Paula
17	Alameda Principal - Las Virreinas - La Palma
18	Ciudad Jardín - Teatinos
19	Paseo del Parque - Campanillas - Maqueda (Por O. Gasset)
20	Alegria de la Huerta - Alameda Principal - Los Prados
21	Alameda Principal - Carlos Haya - Puerto de la Torre
22	Avda. de Moliere - Tiro de Pichón - Universidad
23	Alameda Principal - El Consul - Parque Cementerio
25	Paseo del Parque - Campanillas - Maqueda
28	Santa Águeda - Campanillas - Bda. Los Núñez
29	Jarazmín - El Palo
30	Alameda Principal - Mangas Verdes
31	Alameda Principal - Carranque - Palacio Deportes
32	Av. Andalucía - Limonar - Mayorazgo
33	Av. Andalucía - Cerrado de Calderón
34	Av. Andalucía - Pedregalejo
35	Av. Andalucía - Gibralfaro
36	Alameda de Colon - Conde Ureña
37	Av. Andalucía - Altamira - Monte Dorado
38	Alameda Principal - Granja Suárez
40	Paseo de la Farola - Sacaba Beach
N1	Puerta Blanca - Alameda Principal - El Palo (Nocturno 1)
N2	Plaza de la Marina - Circular (Nocturno 2)
N4	Alameda Principal - Teatinos - Pto. de la Torre (Nocturno 4)
62	Puerto de la Torre - Universidad
64	Alameda Principal - Avda. Andalucía - Rastro
65	UMA - Ampliación Campus
E	Paseo del Parque - PTA (Express)
C1	CIRCULAR 1
C2	CIRCULAR 2
C3	PARQUE CLAVERO
A	Paseo del Parque - Aeropuerto

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

ANÁLISIS DE LA RED DE TRANSPORTE

DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA

Dep. Ingeniería Ciencia de los Materiales y del Transporte

Elaboración Propia

Autor: Javier Fernández Tejada
Tutor: Luis Miguel Romero

CARACTERIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE URBANO DEL CTMAM EN EL ENTORNO DE TRANSCAD

Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA

U.S.

0 0.5 1 2 3 4 Kilómetros
E: 1:0

Plano N°

6

